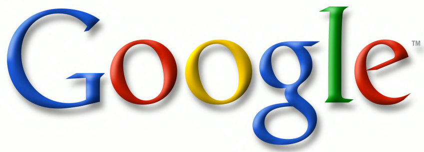


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

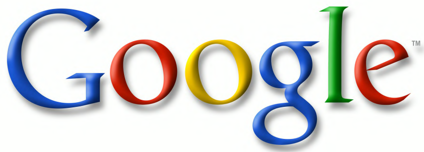
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

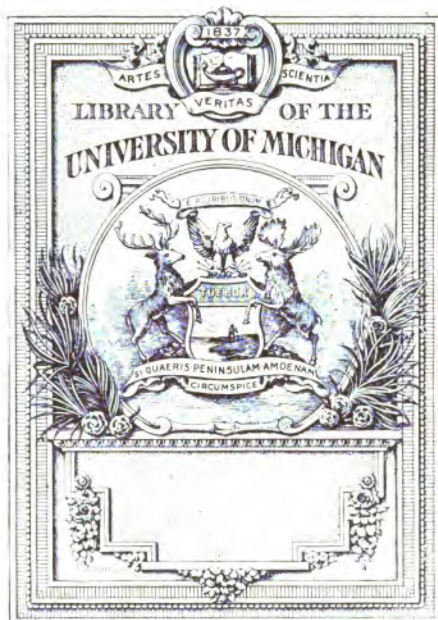
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

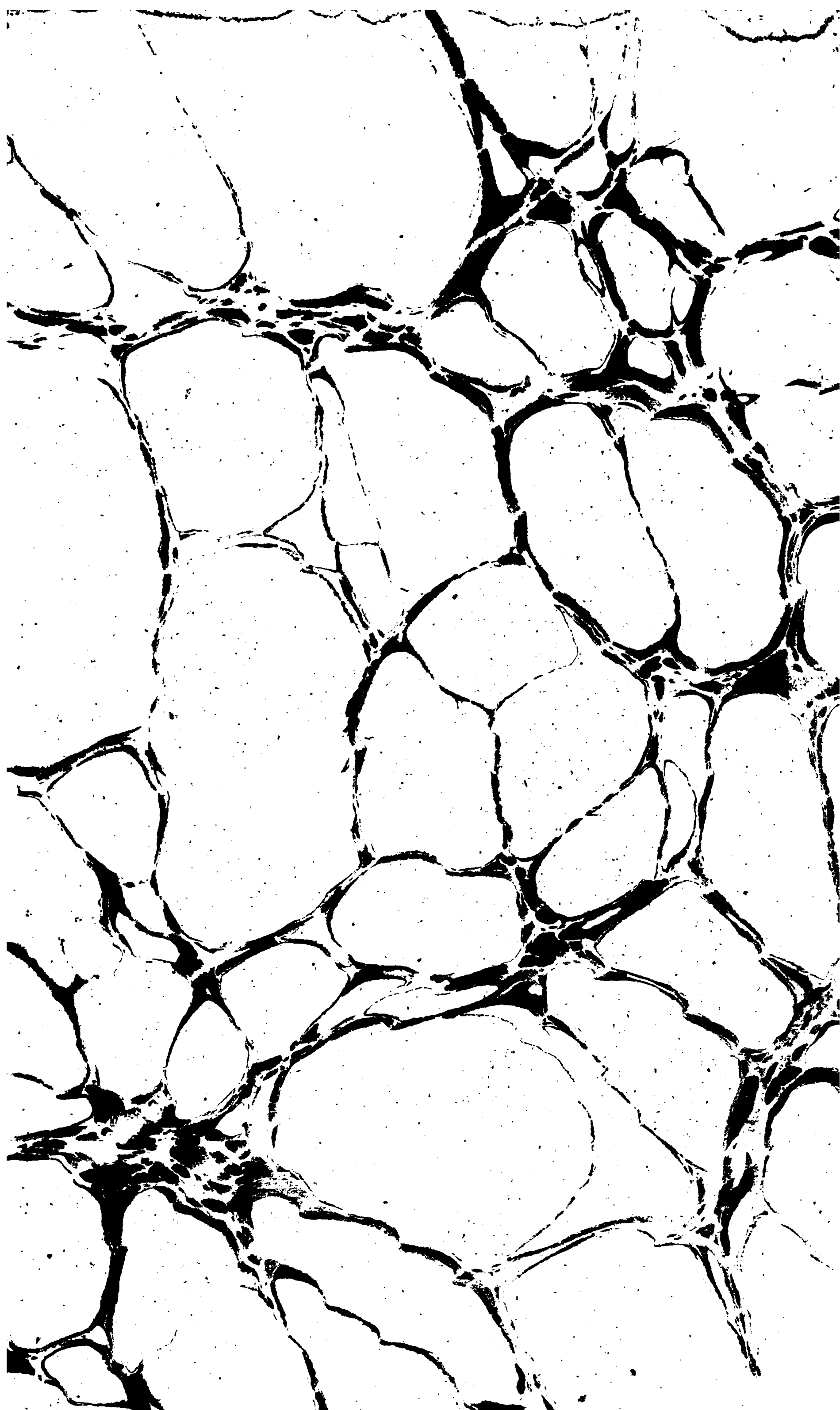
Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



T
2
.P23

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

DES ARTS ET MÉTIERS.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

DES ARTS ET MÉTIERS,

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS.

2e SÉRIE. — TOME I.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1889

(Tous droits réservés.)

INTRODUCTION.

Pendant une période de près de vingt ans, de 1861 à 1879, les professeurs du Conservatoire des Arts et Métiers ont publié, sous le nom d'*Annales*, un Recueil périodique de Mémoires et de Notices qui forme dix volumes remplis de faits intéressant à la fois la Science et l'Industrie. Cette publication a été interrompue à la mort de M. le général Morin, suivie bientôt ou même précédée de celle de la plupart de ses collègues qui en avaient pris avec lui l'initiative et la responsabilité, et les circonstances n'ont pas permis de la reprendre jusqu'à ce jour.

La Direction actuelle et le Conseil de perfectionnement du Conservatoire n'ont cependant jamais perdu l'espoir de renouer une tradition précieuse à tous les points de vue, et ils ont eu la satisfaction de trouver le gouvernement de la République disposé à les aider et à les encourager.

Nous ne saurions mieux faire, pour préciser le but que nous nous proposons d'atteindre, en entreprenant la publication de nouvelles Annales, que de reproduire quelques-uns des paragraphes de l'Introduction placée

178880

en tête de la première série. Ce sera en même temps un hommage rendu à la mémoire de ceux de nos prédécesseurs qui ont eu le mérite de nous ouvrir la voie.

L'enseignement du Conservatoire des Arts et Métiers, est-il dit dans cette Introduction, est le plus populaire qui soit en France. Constitué avec toutes les ressources de la Science, initié à tous les développements de l'Industrie, dont il a pour mission de faire connaître les progrès, il est pour elle une source féconde de connaissances utiles, un guide sûr dans les applications.

Il fait aimer la Science en mettant en lumière l'importance des règles qu'elle enseigne. Il prépare les progrès de l'avenir en familiarisant les esprits les moins exercés avec les notions scientifiques les plus délicates. Mettant l'exemple à côté du précepte, il propage la foi scientifique et développe dans de saines limites l'esprit d'invention.

C'est parce qu'il répond réellement aux besoins de l'époque que l'enseignement du Conservatoire a été successivement doté de nouvelles chaires, au nombre de quatorze aujourd'hui; elles embrassent les Sciences physiques et mathématiques les plus importantes, ou elles sont spécialement affectées aux industries principales du pays. La législation industrielle y est l'objet d'une étude approfondie; les données économiques de l'industrie des différents peuples y sont enseignées avec le plus grand soin.

Par ses cours et par son musée, le Conservatoire occupe incontestablement le premier rang parmi tous les établissements analogues des autres peuples, chez qui l'enseignement technologique se développe cependant depuis quelques années.

Pour aider encore aux ressources qu'offre ce grand établissement à l'étude des sciences et des arts utiles, on a pensé qu'une publication spéciale, rédigée en grande partie par MM. les professeurs du Conservatoire, serait accueillie avec plaisir. Les *Annales du Conservatoire* constitueront au

dehors un organe de publicité répondant au même objet que son enseignement.

Nous pourrions prolonger cette citation et nous contenter de dire que le programme contenu dans l'Introduction écrite en 1861 est exactement celui que nous prétendons adopter.

Nous sommes cependant obligés d'ajouter quelques réflexions suggérées par les nouvelles conditions dans lesquelles se trouve l'enseignement au Conservatoire, par suite des progrès considérables qu'ont faits, depuis un quart de siècle, les sciences appliquées à l'industrie. Ainsi, le nombre des chaires, qui était de 14 en 1861, comme on vient de le voir, a été porté à 15 seulement depuis cette époque, et la nouvelle chaire, fort utile sans doute, consacrée au Droit commercial, n'a soulagé en rien les professeurs de Mécanique, de Physique et de Chimie, dont les programmes se sont démesurément accrus. Il en résulte que ces professeurs se trouvent dans l'obligation soit de traiter trop sommairement de très importants sujets, soit de prolonger la durée de rotation de leurs cours, sans parvenir à satisfaire complètement aux besoins de tant d'industries nouvelles qui, aussi bien que celles qui existaient auparavant, ne peuvent se développer sans le secours incessant de la Science. Il nous suffirait de citer la grande industrie des chemins de fer, la métallurgie entièrement renouvelée au grand avantage de tant de professions mécaniques ou artistiques, enfin les innombrables applications industrielles de l'électricité et même de la photographie.

Ce que disait M. le général Morin, dans l'introduc-

tion des anciennes *Annales*, ne pourrait donc plus être répété aujourd'hui avec le même accent de satisfaction. Par ses cours et par son musée, le Conservatoire continue sans doute à occuper un rang élevé parmi les établissements analogues des autres pays qui, depuis 1861, ont fait de grands efforts et de grands sacrifices pour élever le niveau de l'enseignement technologique; mais il est devenu, par cela même, indispensable chez nous de multiplier les cours et de permettre au musée de se développer, en lui procurant l'espace qui lui manque, en le dégageant des constructions voisines qui l'enserrent et font courir de sérieux dangers à ses inestimables collections.

Il n'y a, en effet, rien d'exagéré à affirmer que, jusqu'à présent, il n'existe encore nulle part un ensemble de modèles et d'appareils appropriés à un enseignement populaire et méthodique des Sciences appliquées aussi précieux et aussi complet que celui qui se trouve réuni au Conservatoire, grâce à l'initiative et à l'active propagande de ses professeurs, à la sollicitude de quelques-uns des pouvoirs publics et à la générosité d'un grand nombre de personnes, constructeurs, fabricants, amateurs éclairés. Mais il est en même temps du devoir de la Direction qui est chargée de donner à cette magnifique collection toute sa valeur, en la mettant sous les yeux du public, de ne laisser échapper aucune des occasions qui lui sont offertes de signaler l'insuffisance et, dans bien des cas, le mauvais état des bâtiments qui l'abritent. C'est ce devoir que nous remplissons en ce moment.

Immédiatement après l'Introduction, on trouve dans le premier volume des *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers* la description de la salle des expériences de Mécanique, de ce que nous appellerions aujourd'hui le *laboratoire de Mécanique industrielle*. L'auteur de l'article, M. Tresca, qui avait concouru, avec M. le général Morin, à la création de ce laboratoire pouvait, sans s'exposer à être accusé de manquer de modestie, s'exprimer comme il le faisait, dès le début de sa description :

La salle des machines en mouvement du Conservatoire a été définitivement installée de 1852 à 1854. Vouée à une destination permanente, on a cherché à y réunir toutes facilités pour des expériences de toute nature; on l'a dotée de moteurs puissants, on a dû y consacrer des dispositions toutes spéciales pour l'étude de l'Hydraulique et pour les machines qui en dérivent. Elle forme aujourd'hui l'observatoire le plus complet qui ait jamais été construit dans ce but; et, par le nombre des expériences que cette installation a permis de réaliser, elle a déjà puissamment aidé aux progrès des arts mécaniques.

Nous ne croyons pas avoir besoin de justifier ce qu'avançait avec tant d'assurance M. Tresca, sept ou huit années seulement après l'organisation de la salle des expériences dans la nef de l'ancienne église du prieuré de Saint-Martin-des-Champs. Les procès-verbaux des épreuves dynamométriques et autres auxquelles y furent soumises une foule de machines anciennes ou nouvelles dont on avait intérêt à connaître le rendement exact : moteurs hydrauliques, machines élévatoires, machines à vapeur, à air chaud, à gaz, sont publiés, pour la plupart, dans les dix volumes des *Annales du Conservatoire*.

Le même Recueil contient en outre les résultats d'études expérimentales importantes faites dans le même laboratoire, concernant l'hydraulique, la traction des voitures, le chauffage des grands édifices, la ventilation, le tarage des anémomètres, la résistance et l'élasticité des matériaux. C'est là que Tresca a exécuté ses beaux travaux sur ce sujet neuf et assez inattendu de la fluidité et de l'écoulement des solides ; qu'avec Ch. Laboulaye, il a poursuivi des recherches délicates sur la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur. Enfin, c'est au général Morin et à son dévoué collaborateur que les constructeurs doivent plusieurs des nombres dont ils font journellement usage dans l'établissement de leurs projets et que l'on peut qualifier de *coefficients de sécurité* ou *d'économie*.

Nous ne saurions trop insister sur ce point que les méthodes si heureusement employées par le Directeur et le Sous-Directeur du Conservatoire des Arts et Métiers étaient dues, pour la plupart, à des ingénieurs français, en tête desquels il n'est que juste de citer Prony et Poncelet; plusieurs d'entre elles et les instruments mêmes qui servaient à les appliquer avaient été imaginés par les deux laborieux expérimentateurs. En résumé, l'initiative prise au Conservatoire par des hommes de Science a eu pour résultat d'ouvrir une voie nouvelle dans laquelle les ingénieurs de tous les pays sont entrés tour à tour. Aux épreuves hâtives et insuffisantes, aux règles empiriques dont on s'était trop souvent contenté jusqu'alors, on a substitué des mesures précises et des formules beaucoup plus sûres, établies

d'après des expériences faites avec le plus grand soin.

A dater de cette époque, que nous n'hésitons pas à qualifier de *mémorable,* de la création de la salle dite *des machines en mouvement du Conservatoire,* la Mécanique, comme la Physique et la Chimie, a bientôt eu à son tour des laboratoires largement dotés dans tous les pays industriels. Nul doute que les progrès si rapides et si merveilleux que l'art de l'ingénieur a accomplis dans ces derniers temps ne soient dus, pour une grande part, à cette heureuse innovation. On ne saurait nous blâmer d'avoir saisi l'occasion très naturelle qui se présentait d'en réclamer l'honneur pour l'établissement qui a eu l'incontestable mérite de donner l'exemple.

Ce devoir rempli, il nous reste à faire un aveu qui surprendra sans doute quelques-uns de nos lecteurs. L'installation faite au Conservatoire en 1852-1854 a cessé d'exister. Une grande partie du matériel destiné aux expériences avait vieilli et il a fallu songer à le remplacer. D'ailleurs, la nef de l'ancienne église, qui forme assurément un très beau vaisseau, se prêtait mal à la destination qu'on avait été obligé de lui donner, faute d'un autre local mieux approprié. Les murs sur lesquels étaient scellées les chaises qui portaient les arbres de couche manquaient de solidité et avaient même une tendance prononcée à s'écarter de la verticale. Enfin, l'humidité entretenue dans la salle salpêtrait ces murs et achevait de compromettre l'existence d'un monument historique du plus haut intérêt. Il a donc fallu abandonner ce local et faire le projet d'un nouveau laboratoire plus complet et plus au courant de l'état actuel de

la Science. La Direction, le professeur de Mécanique et l'ingénieur ont fourni, à ce sujet, tous les renseignements nécessaires à l'architecte du Conservatoire, qui s'est pénétré des besoins de cet important Service et dont le projet a été approuvé à la fois par M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie et par le Conseil des bâtiments civils.

Nous espérons donc pouvoir bientôt publier dans les *Annales* la description de ce laboratoire, dont la construction dans l'ancien jardin du Conservatoire sera commencée dès que les Chambres auront voté le crédit qui leur est demandé. Nous devons ajouter d'ailleurs que le Service des expériences proprement dit, devenu assurément beaucoup plus difficile, n'a cependant pas été interrompu pour cela. Seulement, il exige de la part de M. l'ingénieur Masson, qui en est chargé, de plus grands efforts et souvent des pertes de temps imposées par la nécessité de monter et de démonter les appareils, au fur et à mesure des demandes qui nous sont faites.

La publication des procès-verbaux d'expériences exécutées dans ces conditions difficiles, que nous entreprendrons dans les prochains fascicules des *Annales*, servira à rassurer les personnes qui s'adressent au Conservatoire pour obtenir les renseignements dont elles ont besoin sur la résistance à l'écrasement ou à la traction de matériaux qu'elles doivent employer ou livrer à la consommation : architectes, propriétaires de carrières ou d'usines. Le Conservatoire n'a jamais refusé non plus, même depuis l'ouverture de la période critique qu'il traverse, d'essayer les machines ou les appareils qui lui

ont été soumis par les inventeurs ou les constructeurs; mais, nous le répétons, c'est au prix de beaucoup de sacrifices de temps et avec d'assez grandes difficultés à vaincre qu'il est parvenu à satisfaire son intéressante clientèle [1].

Entre temps et grâce à une amélioration des crédits affectés à l'acquisition des modèles et du matériel des expériences, l'administration du Conservatoire a pu, avec le concours désintéressé de plusieurs constructeurs, réaliser la création d'un laboratoire spécial d'électricité, qui est en même temps un modèle réduit d'usine pour l'éclairage électrique de l'établissement pendant les soirées de la saison des cours (amphithéâtres, bibliothèque, vestibules). Nous publierons, assez prochainement, la description complète de cette installation qui facilite à la fois les recherches que peuvent entreprendre les professeurs de Physique et de Mécanique et l'enseignement même de l'électricité industrielle.

Nous n'entreprendrons pas de donner ici une idée de l'organisation des laboratoires de Physique et de Chimie

---

[1] Nous tenons d'autant plus à rassurer cette clientèle que des ingénieurs de deux pays voisins mal renseignés, car il nous est impossible de croire à leur malveillance, ont, dans des conférences et dans des publications récentes, signalé la France comme l'une des nations industrielles les plus arriérées sous le rapport de l'organisation des laboratoires de Mécanique pratique.

Ce qu'il y a de plus piquant, c'est que l'une de ces conférences a été tenue dans une contrée dont les habitants ne cessent pas de recourir au Conservatoire des Arts et Métiers pour obtenir des procès-verbaux d'expériences, auxquels ils attachent le plus grand prix et qui leur sont délivrés avec l'obligeance et le désintéressement dont notre administration ne s'est jamais départie.

illustrés par les Pouillet, les Payen, les Persoz et les Boussingault, pour ne citer que les noms des professeurs qui ne sont plus. Nous espérons pouvoir encore fournir à quelques-uns de leurs successeurs un peu plus de place, dès que l'Institut agronomique, provisoirement et très insuffisamment installé dans une aile du Conservatoire, l'aura définitivement évacuée.

En résumé, le Conservatoire des Arts et Métiers s'efforce de maintenir sa réputation et de conserver la place qu'il a toujours occupée parmi les plus célèbres établissements consacrés à l'enseignement scientifique et industriel. Nous reconnaissons hautement que nos émules étrangers, tant en Europe qu'en Amérique, ont fait, de leur côté, de très grands progrès dans une voie que la France a ouverte, il y a près d'un siècle, et dans laquelle elle s'est engagée résolument depuis soixante-dix ans surtout. Cette voie, personne ne le conteste, est celle que les sociétés modernes doivent s'efforcer d'élargir, car elle conduit à la richesse et au bien-être les nations et les individus qui savent s'y maintenir par une connaissance approfondie des procédés nouveaux que la Science a permis d'employer et qu'elle seule peut aider à perfectionner et à rendre féconds.

Nous reprenons la publication des *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers* principalement dans le but de mettre à la disposition des professeurs un organe qui puisse leur servir à répandre des connaissances utiles à tous ceux qui cherchent à développer nos industries

nationales, en même temps qu'à faire connaître leurs propres travaux.

Nous comptons sur le concours des hommes éclairés qui partagent nos préoccupations et qui voudront coopérer à l'œuvre que nous continuons dans des conditions particulièrement délicates. Enfin, nous espérons que cet organe, en nous aidant à mettre en lumière les progrès et les besoins toujours nouveaux d'un enseignement immortalisé par plusieurs de ceux qui l'ont créé en France, plaidera pour nous auprès des pouvoirs publics dont l'active et bienveillante intervention ne saurait nous faire défaut, car nous n'aurons aucune peine à les convaincre que tout ce que nous faisons, tout ce que nous entreprenons ne tend que vers ce but dont ils ne doivent pas eux-mêmes détourner leur vue : la grandeur et la prospérité du pays.

A. LAUSSEDAT.



ANNALES
DU
CONSERVATOIRE
DES ARTS ET MÉTIERS.

SUR LA COMPOSITION
DES ALLIAGES MONÉTAIRES

Par M. Eug. PELIGOT.

Les alliages d'or et de cuivre, d'argent et de cuivre qui servent à fabriquer les monnaies, les médailles, les bijoux, les pièces d'orfévrerie, etc., sont-ils des composés chimiques ou bien des mélanges existant dans des proportions variables, malgré le soin qu'on apporte à brasser les matières fondues avant de les verser dans la lingotière? Cette question intéresse au plus haut degré l'art de l'essayeur et par conséquent le commerce et l'emploi des métaux précieux.

En ce qui concerne les alliages d'argent et de cuivre, elle a été l'objet de nombreuses recherches. Les travaux de d'Arcet en 1824, de Merckleim, à la Monnaie de Strasbourg en 1834, de Levol en 1852 et en 1854, de Chandler Roberts, chimiste de la Monnaie de Londres en 1878, etc., ont établi que les lingots d'argent et de cuivre ne sont pas homogènes dans leurs différentes parties. Néanmoins, en comparant l'essai fait à la goutte sur un alliage contenant 718,9 d'argent et 281,1 de cuivre aux

essais exécutés sur des parcelles détachées de lingots au même titre, ceux-ci étant coulés soit dans un moule cubique, soit dans un moule sphérique, Levol a admis l'existence d'un alliage homogène, qu'il considère comme une combinaison définie formée de $3^{éq}$ d'argent et de $4^{éq}$ de cuivre. Les autres alliages seraient des mélanges de ce composé avec des excès variables de l'un des deux métaux employés ([1]).

Les résultats obtenus par Levol et les conséquences qu'il en a déduites ont été, en partie, contestés par M. Chandler Roberts ([2]). En prenant comme point de départ les expériences faites en 1860 par Matthiessen sur les conductibilités électriques, cet habile chimiste a mis en doute l'existence de l'alliage homogène de Levol. Ce doute lui fut confirmé par les expériences qu'il fit pour déterminer le point de fusion des alliages d'argent et de cuivre. En représentant par une courbe ce point de fusion, il constate que celle-ci s'abaisse rapidement du point de fusion de l'argent pur à celui de l'alliage à $\frac{925}{1000}$ de fin (qui est celui des monnaies anglaises); il supposait que l'alliage de Levol était celui dont le point de fusion devait être le moins élevé, tandis que l'expérience démontre que l'alliage au titre de $\frac{630.29}{1000}$ fond à une température plus basse. Celui-ci correspond à la formule Ag Cu, soit équivalents égaux d'argent et de cuivre.

Ce dernier alliage avait aussi présenté des particularités de conductibilité électrique qui l'avaient signalé à Matthiessen comme devant avoir une constitution moléculaire particulière.

La liquation sur les alliages d'argent et de cuivre serait due à l'inégalité du refroidissement de la masse métallique. Les effets ne paraissent pas dépendre de la densité relative des métaux en fusion.

D'une manière générale, on peut admettre, d'après les expériences nombreuses exécutées à diverses époques, à la Monnaie de Paris, par Bréant, Pelouze, Levol et par moi-même, que les lingots d'argent à haut titre, à partir de $\frac{700}{1000}$ de fin, sont

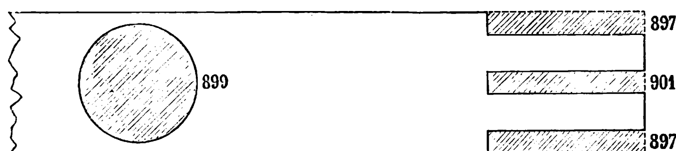
---

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXXVI.

([2]) *Ibid.*, 5e série, t. XIII.

plus riches au centre qu'à leur périphérie : l'effet inverse se produit pour les lingots à bas titre. Pour l'alliage monétaire à $\frac{900}{1000}$, la goutte étant au titre de $\frac{901.3}{1000}$, le centre supérieur a donné à Levol $\frac{997.3}{1000}$, tandis que la partie inférieure était de $\frac{898.4}{1000}$. Ces différences se font même sentir dans les lames amenées à l'épaisseur voulue pour le découpage des rondelles ou flans monétaires. Ces lames, qui proviennent de barres coulées dans des lingotières verticales en fer, fournissent habituellement

Fig. 1.



quarante flans pour les pièces de 5fr. Le flan n° 1, pris à la partie supérieure de la lame, étant à $\frac{900.4}{1000}$, le flan n° 40 est à $\frac{397.3}{1000}$. De plus j'ai constaté qu'en découpant, au moyen d'une scie, des bandes d'une lame ayant donné le titre de $\frac{899}{1000}$, la bande centrale est au titre de $\frac{901}{1000}$, tandis que les bords sont à $\frac{897}{1000}$, ainsi que le représente la *fig.* 1.

Aussi, pour avoir le titre moyen d'une pièce de 5fr, il est nécessaire d'en faire l'essai en opérant sur une douzaine de petites rondelles prélevées à l'emporte-pièce. Pelouze a fixé, par des expériences très précises, le poids que doivent avoir ces rondelles et la place à laquelle elles doivent être prises pour obtenir le titre vrai de la pièce, c'est-à-dire celui qu'on aurait si on analysait la pièce entière.

D'après les expériences de M. Chandler Roberts, on obtient des résultats différents selon que le refroidissement de la masse est lent ou rapide. Ainsi un lingot sous forme de cube, refroidi rapidement, donne pour le centre un titre plus élevé de $\frac{12.8}{1000}$ que pour les parties extérieures, tandis que le même alliage refroidi lentement ne présente dans ses diverses parties qu'une différence de $\frac{1.4}{1000}$. L'alliage monétaire, sous forme de cube, à $\frac{900}{1000}$, accuse une différence de $\frac{10.1}{1000}$ entre le centre et les angles, étant refroidi rapidement, et de $\frac{1.3}{1000}$ si le refroi-

dissement est lent. Il ne paraît pas possible d'expliquer, quant à présent, la cause de ces variations.

Quoi qu'il en soit, la détermination du titre d'un lingot d'argent présente de sérieuses difficultés en raison du choix de la place à laquelle il convient de faire la prise pour l'essai. Alors même qu'on connaît approximativement la composition de la masse, il n'est pas possible de fixer cette place avec certitude. Le seul mode d'opérer pour avoir le titre moyen consiste à faire l'essai *à la goutte*, c'est-à-dire sur une grenaille obtenue en versant dans l'eau une petite quantité de métal fondu et bien brassé. Mais cette manière de procéder ne peut s'employer que dans des conditions exceptionnelles : il entraîne à des frais et à des pertes de temps considérables. Aussi les Administrations monétaires n'acceptent guère que des lingots d'argent à titre très élevé, supérieur à $\frac{994}{1000}$ de fin, pour lesquels la liquation est à peu près nulle.

Alliages d'or et de cuivre. — Les mêmes prescriptions existent pour les matières d'or. Elles sont loin, néanmoins d'avoir la même importance. Les alliages d'or sont-ils, comme ceux d'argent, soumis aux effets de la liquation? Cette question n'étant pas encore résolue avec une entière certitude, il ne m'a pas paru superflu de la soumettre à un nouvel examen.

Des expériences nombreuses sur les alliages d'or, d'argent, etc., ont été faites à la fin du siècle dernier à la Monnaie de Londres; elles sont décrites avec détail dans un Travail entrepris par Cavendish et Hatchett sur l'invitation d'une grande Commission nommée en 1798 pour s'occuper de l'état des monnaies ([1]). Pour les alliages monétaires, c'est au moyen de la balance hydrostatique qu'on déterminait la densité des diverses parties de lingots d'or ou d'argent. Les résultats fournis par cette balance sont bien loin de démontrer que les alliages d'or et de cuivre sont homogènes. La pesanteur spé-

---

([1]) *Expériences et observations sur les différents alliages de l'or, leur pesanteur spécifique et leurs propriétés comparées par rapport au frai comme monnaie,* par Ch. Hatchett, Ecuyer, Membre de la Société royale de Londres, an XII (1804).

cifique a varié pour le même alliage entre 17,372 et 16,979. Un lingot d'or amené par le cuivre pur au titre des monnaies anglaises a donné 18,492 pour le bout supérieur et 16,659 pour le bout inférieur. Dans une autre expérience, deux morceaux essayés par Bingley, essayeur royal, ont accusé le même titre; la pesanteur spécifique a été trouvée égale à 17,035 pour le bout supérieur et 17,364 pour le morceau inférieur.

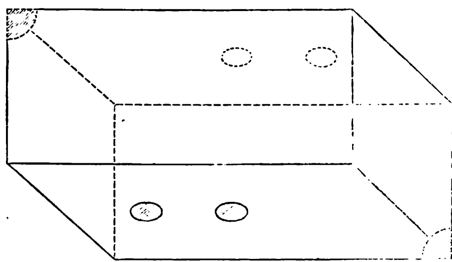
Bien que les travaux de cette Commission soient intéressants sous d'autres rapports, notamment en ce qui concerne le frai des monnaies, on doit considérer comme non avenues les déterminations que la balance hydrostatique donnait à cette époque.

Les seules expériences précises sur l'état plus ou moins homogène des alliages d'or et de cuivre sont dues à Levol : elles sont consignées dans le travail qu'il a publié en 1853. Il a analysé six alliages produits dans des proportions atomiques. Tous ces alliages, dit-il, ont été reconnus homogènes par les essais qui ont été faits tant à leur superficie qu'intérieurement. Levol ne donne pas le détail de ses expériences. Nous savons néanmoins qu'il n'avait à sa disposition qu'une petite quantité de métal précieux. Il insiste sur la nécessité « de se mettre en garde contre deux circonstances assez difficiles à écarter complètement : l'oxydation d'une part et de l'autre le peu de tendance qu'ont les deux métaux à s'allier, surtout pour les matières à bas titre, dont la fonte et le brassage doivent être exécutés à diverses reprises.

« L'oxydation, ajoute-t-il, paraît avoir une influence considérable, dont l'effet consiste dans l'impossibilité presque absolue d'obtenir dans une masse d'or, même légèrement oxydée, un titre uniforme sur la périphérie des sphères, tellement qu'alors on peut trouver des différences de plusieurs millièmes entre des parties diamétralement opposées d'une même zone. J'ai remarqué, pendant la solidification de l'alliage d'or et de cuivre oxydé, que les parties les plus altérées sont expulsées des parties centrales vers la superficie : mais cette élimination est très capricieuse, parce qu'elle se trouve soumise à des influences bien difficiles à maîtriser. »

En présence de ces résultats, j'ai dû saisir récemment l'occasion de soumettre à un examen attentif un lingot au titre de $\frac{900}{1000}$ d'or, de forme et de poids commerciaux, versé au change de la Monnaie de Paris. Ce lingot pesait $6^{kg},303$. Il est assez rare qu'un chimiste ou un essayeur ait le temps ou la faculté de soumettre à des essais multipliés une masse d'or représentant une valeur d'une vingtaine de mille francs. Un écart de $\frac{9}{10}$ de millième existait entre le titre accusé par le commerce et celui trouvé par les laboratoires d'entrée et de

Fig. 2.



sortie de l'Administration des monnaies. Cet écart devait-il être attribué à l'état peu homogène de la matière ou bien à des essais manquant de la précision habituelle? On sait que le mode d'essai des matières d'or donne le titre vrai à $\frac{2}{10\,000}$ ou $\frac{2.5}{10\,000}$ près. Cette approximation est celle que fournit la balance à or, dont la sensibilité est réglée à raison de $\frac{1}{8}$ de milligramme.

On a fait le prélèvement de six peuilles aux endroits indiqués par la *fig.* 2.

Chacune des peuilles a été essayée en double par un essayeur très expérimenté, M. Desmarais, et par moi : les douze essais se sont parfaitement accordés; ils ont tous accusé le même titre dans les limites de l'écart indiquées ci-dessus. Ils confirment les résultats constatés antérieurement par Levol.

On peut admettre, en conséquence, que les alliages d'or et de cuivre sont homogènes. Ce fait se trouve d'ailleurs confirmé par les expériences exécutées par M. Chandler Roberts sur la densité de divers alliages, déterminée par des procédés beau-

coup plus précis que ceux de Hatchett. En opérant sur des flans, il a été constaté que les densités moyennes trouvées expérimentalement concordent avec les nombres donnés par le calcul; ce qui permet de supposer qu'il n'y a pas changement de volume par suite de l'alliage des deux métaux : on pourrait, en conséquence, déduire le titre de la monnaie d'or d'après sa densité. Cette méthode, dit M. Roberts, permet de vérifier rapidement la valeur d'une quantité considérable de pièces d'or sans les détruire, ce qui peut être d'un certain intérêt, en Angleterre, pour la vérification des *deniers de boîtes*. Mais ce procédé n'est pas d'une assez grande exactitude lorsqu'il s'agit de déterminer le titre d'une seule pièce, les causes d'erreurs ayant beaucoup plus d'importance pour les petites masses que pour les grandes.

La possibilité de déterminer le titre par la densité avait déjà été discutée avec une grande compétence, par M. le Dr Broch, de Christiania, directeur du Bureau international des Poids et Mesures. D'après M. Broch, l'erreur probable d'une seule observation sur un poids de 90^{gr} environ peut être de $\pm 0,0014$, correspondant à une erreur de $\frac{2}{10000}$. On pourrait, en conséquence, déterminer la différence de titre de deux masses de monnaies d'or avec cette approximation en les pesant successivement dans l'air et dans l'eau. La présence dans ces alliages de métaux autres que l'or et le cuivre aurait peu d'influence sur le résultat, pourvu que leur densité ne différât pas sensiblement de celle du cuivre.

La nécessité d'employer une quantité de matière cent quatre-vingts fois plus grande que celle qui sert aux essais ordinaires limite beaucoup l'adoption de la balance hydrostatique dans ces conditions. Mais les résultats observés par M. Broch et par M. Chandler Roberts viennent à l'appui des conclusions de cette étude sur l'homogénéité des alliages d'or et de cuivre.



L'AGRICULTURE EN FRANCE

AVANT 1789,

Par M. CH. DE COMBEROUSSE.

PREMIÈRE PARTIE.

(1589-1787.)

Je voudrais marquer, en raccourci, quels ont été en France le sort des agriculteurs et les vicissitudes de l'Agriculture, pendant l'importante période qui va de 1589 à 1789.

Le mémorable ébranlement de 1789 a été tel que, souvent, l'on est tenté de dater de là un nouveau monde. Il semble que tout ce qui précède doive être oublié, sinon dédaigné. Il faut se garder de cet entraînement. L'année 1789 n'est pas un commencement, c'est la fin du XVIIIe siècle. C'est le résumé, si l'on veut, de tous les efforts accomplis sous Louis XVI, qui effaça d'abord de son mieux les fautes de Louis XIV et les criminelles faiblesses de Louis XV.

Dans cette grande année, l'ancien régime disparut, mais après avoir forgé lui-même les armes qui le frappaient. Chose nouvelle, les meilleurs parmi les privilégiés aidèrent à la chute de leurs privilèges et préparèrent l'avenir. Dans la nuit du 4 août 1789, les deux Frances se reconnurent un instant et s'embrassèrent.

Voici le texte du premier des articles rédigés le 11, en conformité des résolutions arrêtées le 4 août :

« L'Assemblée nationale détruit entièrement le régime

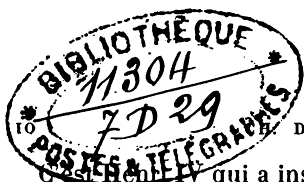
féodal; dans les droits tant féodaux que censuels, ceux qui tiennent à la servitude personnelle sont abolis sans indemnité; tous les autres sont déclarés rachetables; le prix et le mode du rachat seront fixés par l'Assemblée nationale. »

C'était la liberté de l'Agriculture et des agriculteurs. La loi du 28 septembre 1791, sur les biens et usages ruraux, acheva de l'assurer complètement. Mais les principes de cette dernière loi étaient déjà inscrits dans les fameux édits de 1774, 1775 et 1776, et Turgot peut en partie en revendiquer l'honneur. Le travail latent qui, d'avance, prépare les réformes, datait de loin.

Sous le gouvernement réparateur de Henri IV, les maux que les Valois avaient fait subir à l'Agriculture furent atténués dans la plus large proportion et remplacés bientôt par une prospérité inconnue. De 1600 à 1610, le laboureur de France s'achemina vraiment vers l'âge d'or. En désaccord sur d'autres points d'économie politique, Henri et Sully n'avaient qu'une même pensée au sujet de l'Agriculture. Et les paroles bien connues de Sully : « que le labourage et le pasturage estoient deux mamelles dont la France estoit alimentée, et les vrais mines et trésors du Pérou », auraient pu être prononcées par le roi.

La déclaration du 16 mars 1595 protégea efficacement le laboureur en interdisant la contrainte par corps, en rendant insaisissables les meubles et les instruments aratoires, le bétail et les bêtes de trait nécessaires à l'exploitation. Délivré de la crainte des poursuites ou des ventes forcées, le paysan revint à la terre avec une ardente confiance. L'édit du mois de mars 1600, qui facilitait le droit et l'usage du pacage, et l'extension donnée aux prairies sous l'impulsion du roi qui forma des prairies artificielles dans ses propres domaines, favorisèrent partout l'accroissement des troupeaux. Enfin, les récoltes furent sauvegardées par l'article 4 de l'ordonnance sur la chasse, défendant aux gentilshommes de chasser dans les vignes depuis le 1er mars jusqu'à la vendange et, dans les blés, dès qu'ils sont en tuyaux.

Il ne faut pas oublier que nos premiers livres d'Agriculture datent de cette époque.



C'est Henri IV qui a inspiré Olivier de Serres, qui l'a provoqué à écrire son *Théâtre d'Agriculture et Mesnage des champs,* et qui en a accepté la dédicace datée du 1er mars 1600. Malgré son impatience naturelle, il se fit apporter l'Ouvrage tous les jours après son dîner, durant trois ou quatre mois, pour le lire et l'étudier pendant une demi-heure. La mode s'en mêla, l'excellent livre eut cinq éditions en dix ans, et constitua l'Agriculture à l'état de science. Nous savons bien que la pratique est cruellement longue à suivre la théorie; mais c'est beaucoup d'ouvrir la voie, de montrer le chemin et de dépasser du premier élan, comme le fit Olivier de Serres, les agronomes romains. En outre, Henri IV et Sully étaient derrière l'écrivain : ce n'était plus un livre seulement, mais un système fécond, un effort puissant pour ramener les nobles de province à la vie rurale dans ce pays heureusement pacifié et ressuscité, pour transformer en bien-être la misère épouvantable du laboureur écrasé par trente années d'anarchie, de guerre civile et d'invasion. Cette misère, le roi la représentait ainsi dans le préambule de sa déclaration du 16 mars 1595 :

« Nous voyons nos sujets réduits et proches de tomber en une imminente ruine pour la cessation du labour, presque générale en tout nostre royaume... Les vexations auxquelles ont été en butte les laboureurs, leur ont fait quitter leur labour et vacation ordinaire, mais aussi leurs maisons; se trouvant maintenant les fermes censes (1), et quasi tous les villages inhabitez et déserts..., »

Tout cela était vrai et, quinze ans après, quelques mois avant la mort du roi, la France était le plus puissant pays de l'Europe, son peuple en était le plus heureux. Les anciennes voies de communication avaient été remises en état, une foule de nouvelles routes avaient été établies par terre et par eau. Les transports, si importants pour l'Agriculture, s'effectuaient dans des conditions inespérées. Enfin, devançant l'avenir, dès 1595 et avant que Sully eût fait ses débuts dans l'administration, le roi avait voulu la libre exportation, le libre commerce des

(1) Louées, produisant fermage.

grains. Aussitôt que la paix fut solidement reconquise, il n'hésita plus et, par ses lettres patentes du 26 février 1601, il accorda à toutes les provinces du royaume sans exception la faculté de transporter librement et sûrement, à l'intérieur ou au dehors, les grains et les vins, sauf les anciens droits de traite foraine (¹).

Tandis que, précédemment, les denrées agricoles une fois produites semblaient appartenir davantage aux populations voisines qu'aux laboureurs eux-mêmes, et se trouvaient taxées à vil prix par les autorités locales, les bénéfices que le libre commerce assura aux cultivateurs leur permirent de mettre en plein rapport leurs terres labourables et leurs vignes, de sorte que, malgré deux mauvaises années, l'abondance se maintint sans interruption jusqu'à l'attentat de Ravaillac. Par suite de la vente avantageuse de nos céréales aux peuples voisins, et surtout aux Espagnols, le roi pouvait dire justement que les pistoles d'Espagne étaient devenues plus communes en France qu'au delà des Pyrénées.

N'omettons pas, avant de passer aux règnes suivants, d'indiquer quelle conquête magnifique l'Agriculture doit à l'opiniâtre volonté de Henri IV.

Les efforts de Louis XI, de François Iᵉʳ et de Henri II, pour doter la France de l'industrie de la soie, avaient été couronnés d'un si maigre succès, que la France se trouvait encore tributaire de l'importation étrangère pour les cinq sixièmes de ses besoins. Le Béarnais qui voulait, en développant nos industries de luxe, relever le sort de la classe pauvre par un travail bien rémunéré et retenir en France le numéraire drainé annuellement par nos voisins en si grande quantité, comprit que la question n'était pas de prohiber les étoffes de soie dont l'usage était entré dans les habitudes, mais bien « d'avoir de quoy en faire dans le Royaume ». Il ne s'agissait donc de rien moins que d'arriver à créer de toutes pièces une industrie française, rivale d'abord, puis maîtresse des industries similaires à l'étranger. Il fallait pour cela multiplier la graine des

(¹) Droits levés sur les marchandises qui sortaient du royaume ou qui y entraient.

vers à soie et les mûriers dont la feuille leur sert de nourriture, provoquer dans tout le pays l'établissement de nombreuses entreprises, le gouvernement donnant le premier l'exemple en exécutant des plantations, en élevant des magnaneries et des manufactures modèles.

Secondé par son argentier Laffemas, le roi avait déjà, en 1596, bordé de mûriers les allées du jardin des Tuileries. En 1599, il appela à sa cour Olivier de Serres qui, parvenu à l'âge de soixante ans, passait pour l'homme le plus habile du royaume en Agriculture et en ces matières, et lui commanda d'écrire en français un livre sur la soierie, afin que tout le monde fût capable de le lire et qu'il pût instruire jusqu'aux paysans. Ce livre ou *Livret*, intitulé : *La cueillette de la soye, par la nourriture des vers qui la font, échantillon du Théâtre d'Agriculture*, fut imprimé par Jamet Mettayer, imprimeur ordinaire du roi, et publié le 1er février 1599. L'illustre agronome y pose comme loi générale que le mûrier peut prospérer partout où croît la vigne. La marge était donc grande, puisque la culture de la soie n'avait jusqu'alors pris de l'extension que dans les provinces du Dauphiné, de la Provence et du Languedoc, ainsi que sur quelques points des autres régions.

Sully était hostile au luxe et voulait le refréner par des lois somptuaires. Henri IV répondait que la France n'était pas seule, et que l'alternative était seulement de savoir si elle tirerait d'elle-même les objets de luxe en faisant travailler son peuple, ou bien si elle les payerait très cher à l'étranger en se ruinant et en réduisant une partie de sa population à mendier.

Il ne céda donc pas à son ministre qui, content d'avoir défendu son opinion avec énergie, mit ensuite tout son zèle à réaliser les intentions royales.

Nous ne pouvons entrer dans de plus longs détails; mais nous ferons remarquer qu'aucune préoccupation politique ne fit perdre de vue à Henri IV son œuvre favorite et qu'il la poursuivit jusqu'à sa mort avec des soins infinis et dans ses détails les plus minutieux. Au centre et au nord, ses plantations de mûriers et ses magnaneries ont disparu; mais les ma-

nufactures qu'il a créées sont encore debout. Dans le midi, il a réussi complètement. Au XVI[e] siècle, la fabrique de Lyon occupait quinze cents ouvriers; aujourd'hui, elle en emploie plus de cent cinquante mille. Dès 1620, après avoir fourni à la consommation intérieure, elle envoyait ses draps et ses étoffes de soie en Flandre, en Hollande, en Angleterre, en Allemagne, en Portugal, avec un bénéfice annuel pour la main-d'œuvre qu'on ne peut évaluer à moins de cent trente millions actuels.

Henri IV assassiné, l'histoire constate que nul progrès agricole ne se manifesta pendant tout le règne de Louis XIII, et même jusqu'à Colbert sous Louis XIV.

Au contraire, on retourna en arrière. Le laboureur ne fut plus protégé contre les puissants; et, aux États-Généraux de 1615, le Tiers exposa dans ses Cahiers la situation déplorable du peuple. Henri IV et Sully avaient remis aux cultivateurs vingt millions de tailles arriérées en 1598, et les avaient ensuite diminuées constamment depuis 1600. On ne cessa, sous la régence de Marie de Médicis et sous Richelieu, de les augmenter. Le Cardinal n'a-t-il pas écrit que, pour que les hommes soient dociles, il ne faut pas qu'ils aient trop de bien-être. Il laissa donc tomber en désuétude les sages édits de Henri IV. Le laboureur perdit patience et se souleva. De nombreuses révoltes marquèrent les dernières années du ministre qui avait sauvé la monarchie sans penser, comme le Béarnais, au pays tout entier. Le gouvernement de Mazarin empira encore la condition des campagnes.

Pourtant, chose très digne de remarque, l'Agriculture tint bon. Jusqu'en 1660, les paysans souffrirent, mais luttèrent avec énergie, s'attachant au sol, le fertilisant et lui faisant rendre tout le possible. Pendant ce temps, la France soutint sans fléchir une guerre de vingt-quatre ans avec la moitié de l'Europe, et elle arracha à ses ennemis les traités de Westphalie et des Pyrénées. D'où tira-t-elle alors les ressources nécessaires, sinon de l'Agriculture, puisque ses finances furent si mal administrées par les successeurs de Sully et qu'on laissa tomber les industries fondées ou accrues par Henri IV? C'est que le laboureur, malgré tout, vendait son blé plus cher et qu'il pouvait placer ses récoltes à l'étranger avec un gain

considérable. Ce bénéfice ne faisait que traverser sa bourse, l'impôt le lui arrachait aussitôt, mais l'argent restait dans le royaume et payait les frais de la guerre. Le Français était malheureux, la France restait grande. La liberté du commerce, après avoir assuré la prospérité du pays sous un bon roi, permettait, sous un mauvais, de résister aux ennemis extérieurs.

Mais cette liberté ne devait pas durer. En 1661, il y eut une très mauvaise récolte. On s'effraya, et le Parlement de Paris, sous prétexte de prévenir la famine en 1662, rendit le 19 août 1661 un déplorable arrêt. Le commerce des grains fut atteint dans ses sources vives : leur sortie et leur libre circulation furent dès lors prohibées; car les parlements de province imitèrent immédiatement celui de Paris. Au lieu d'arrêter ce mouvement et de casser les arrêts dommageables à la fortune publique, comme Henri IV l'avait fait sans hésiter (par exemple, vis-à-vis du Parlement de Toulouse, en 1604), Louis XIV et Colbert tolérèrent d'abord, puis adoptèrent en se les appropriant ces mesures dangereuses. Depuis, par une pente douce mais certaine, l'Agriculture souffrit, languit, s'appauvrit et tomba à rien.

Après la disette de 1662, le blé fut rare et resta cher pendant trois ans. Mais, ensuite, son prix s'avilit; et, vers 1670, il était devenu moindre que sa plus faible valeur sous Henri IV. Le pain se vendit bon marché pendant quelque temps; mais les propriétaires et les cultivateurs joignirent à peine les deux bouts, et leurs dépenses tarirent au grand détriment du mouvement commercial qui fait, lorsqu'il est bien conduit et bien mesuré, la richesse des empires.

Colbert crut qu'il pourrait arrêter cette décadence, amortir ces funestes résultats. Il rendit aux villages leurs biens communaux, il diminua les gabelles et les tailles, il revint aux édits protecteurs de Henri IV, il encouragea l'élève du bétail. Mais il se trompa au point de vue de la protection, et les ferments destructifs cachés au fond de tout système prohibitif amenèrent une désorganisation rapide.

La protection peut être utile, *nécessaire même, pendant un temps limité*, pour protéger, pour défendre le pays contre ses voisins dans des circonstances déterminées. Mais c'est un

état de maladie qu'il faut guérir au plus tôt, si l'on ne veut voir périr le malade. Rien ne peut remplacer pour l'Agriculture la liberté du commerce des grains et le haut prix du blé ou, du moins, un prix rémunérateur de ses efforts et permettant les réserves et les économies fécondes.

C'est la seule faute de ce grand ministre, qui fit tant pour l'industrie; mais elle eut les plus graves conséquences.

Les capitaux désertèrent l'Agriculture, les intelligences désertèrent les champs et émigrèrent dans les villes, encombrant les professions industrielles ou libérales, plus lucratives et plus honorées. Toute cette génération de gentilshommes ruraux, l'une des forces et l'un des espoirs de la France sous Henri IV, se fondit pour ainsi dire. Les seigneurs, qui pouvaient conserver de grands domaines, les abandonnèrent en friche et se firent courtisans. Le Soleil de Versailles éclipsa le vrai soleil des moissons et des vendanges. Les agriculteurs de profession livrés à eux-mêmes, sans soutiens et sans cadres, s'affaissèrent et s'acheminèrent vers la misère noire décrite par les contemporains et avouée par le Ministre lui-même.

En 1675, insurrection des paysans de la Basse-Bretagne. Au mois de mai de la même année, le connétable de Lesdiguières, gouverneur du Dauphiné, écrit : « La plus grande partie des habitants n'ont vécu, pendant l'hiver, que de pain de glands et de racines, et présentement, on les voit manger l'herbe des prés et l'écorce des arbres. » Dans son Mémoire au roi sur l'état des finances en 1679, Colbert dit : « Nonobstant tout ce qui a été fait, il faut toujours avouer que les peuples sont fort chargés » ; et, dans son projet de budget pour 1681, il ajoute : « Ce sur quoi il y a le plus de réflexion à faire, c'est sur la misère très grande des peuples. Toutes les lettres qui viennent des provinces en parlent, soit des receveurs et autres personnes, même des évêques. »

Après la mort de Colbert, le mal ne fit que s'accroître. On y chercha des remèdes révolutionnaires et impuissants.

Le 5 septembre 1693, on soumet les détenteurs de grains à des visites domiciliaires, on les oblige à en apporter la moitié sur les marchés publics et à les livrer aux prix fixés par les autorités locales.

Le 22 juin 1694, on défend de faire aucuns marchés de grains en vert ou sur pied.

Le 22 décembre 1698, on va plus loin : on interdit l'exportation des froments, méteils, seigles, avoines et autres grains, sous peine de confiscation et sous peine de mort.

Vains efforts. Ces terribles mesures restrictives ne font que précipiter l'avilissement de l'Agriculture. Elle passe de l'appauvrissement à la ruine la plus complète. De 1698 à 1715, la disette est continuelle, et elle se transforme plusieurs fois en épouvantable famine.

Après Louis XIV, aucun changement n'est essayé, et, pendant le règne de Louis XV, cet état de choses s'aggrave encore. L'Agriculture n'a plus aucune direction. Elle est aux mains des paysans pauvres, ignorants, routiniers, tellement affaiblis par le manque de subsistances, qu'ils sont devenus incapables des travaux les plus rudes exigés par la terre. Les laboureurs désertent les villages et les hameaux, ou y périssent de misère, prématurément. Massillon écrit, en 1740, au cardinal de Fleury :

« Les peuples de nos campagnes d'Auvergne vivent dans une misère affreuse, sans lits, sans meubles; la plupart même, la moitié de l'année, manquent du pain d'orge ou d'avoine qui fait leur unique nourriture... Il n'y a pas de peuple plus pauvre et plus misérable que celui-ci. Il l'est au point que les nègres de nos îles sont infiniment plus heureux; car, en travaillant, ils sont nourris et habillés, eux, leurs femmes et leurs enfants; au lieu que nos paysans, les plus laborieux du royaume, ne peuvent, avec le travail le plus opiniâtre, avoir du pain pour eux et pour leurs familles et payer leurs subsides. »

Dans la période comprise entre 1715 et 1758, le gouvernement fut obligé de faire travailler les champs d'autorité et d'agir à coup d'édits. Il arrêta les travaux de construction, il interdit la culture des vignes, pour reporter les bras aux labours et aux moissons. Il fut obligé, pour avoir dans les villes du laitage et du beurre, de les ouvrir toutes grandes et sans droits aux produits de l'étranger; pour avoir de la viande, d'abaisser d'un tiers les redevances sur le bétail des pays voisins. Ainsi, il fut forcé de rendre hommage sur ces points spéciaux aux

bienfaits de la liberté du commerce, en continuant de demeurer aveugle pour tout ce qui concernait les céréales.

Les recherches les plus impartiales prouvent, en résumé, que l'Agriculture française au temps de Henri IV était bien supérieure à celle du temps de Louis XV. Que d'années perdues !

Mais, à partir de Louis XVI, la situation change brusquement. Le roi, dès le premier moment, appelle à lui Turgot et Malesherbes, c'est-à-dire qu'il met la Science et la Vertu au pouvoir. Ils n'y restèrent pas longtemps, assez cependant pour tracer le sillon où le XIXe siècle s'est engagé.

Rappelons en quelques lignes les mémorables réformes accomplies par Turgot en vingt mois et dix-huit jours, du 24 août 1774 au 12 mai 1776.

Turgot avait quarante-sept ans lorsqu'il fut nommé contrôleur général des finances. A Malesherbes, qui lui reprochait un jour de trop se hâter, il répondit : « Les besoins du peuple sont immenses, et dans ma famille on meurt de la goutte à cinquante ans ! »

L'arrêt qui rétablissait la liberté du commerce intérieur des blés et des vins, en ajournant par prudence la liberté d'exportation, fut signé le 13 septembre 1774 et rendu public le 20 du même mois. Pour la première fois, cet arrêt fut précédé de ce que nous appelons aujourd'hui un *exposé des motifs*. Turgot voulait persuader avant tout. On lit dans son préambule :

« Plus le commerce est libre, animé, étendu, plus le peuple est promptement, efficacement et abondamment pourvu. Les prix sont d'autant plus uniformes; ils s'éloignent d'autant moins du prix moyen et habituel sur lequel les salaires se règlent nécessairement. Les approvisionnements faits par les soins du gouvernement ne peuvent avoir les mêmes succès. Son attention, partagée entre trop d'objets, ne peut être aussi active que celle des négociants, occupés de leur seul commerce. Il connaît plus tard, il connaît moins exactement, et les besoins et les ressources; les agents qu'il emploie, n'ayant aucun intérêt à l'économie, achètent plus chèrement, transportent à plus grands frais, conservent avec moins de pré-

cautions. Il se perd et il se gâte beaucoup de grains. Ces agents peuvent par défaut d'habileté, ou même par infidélité, grossir à l'excès la dépense de leurs opérations. Ils peuvent se permettre des manœuvres coupables à l'insu du Gouvernement. Lors même qu'ils en sont le plus innocents, ils ne peuvent éviter d'en être soupçonnés, et le soupçon rejaillit toujours sur l'Administration qui les emploie et qui devient odieuse au peuple par les soins mêmes qu'elle prend pour le secourir. »

Dans une des célèbres lettres qu'il écrivit pendant son intendance de Limoges à son prédécesseur au contrôle général, l'abbé Terray, Turgot disait encore excellemment : « Les règlements et les gênes ne produisent pas un grain de plus, mais ils empêchent que le grain, surabondant dans un lieu, ne soit porté dans les lieux où il est le plus rare. »

Turgot soumit au roi, le 5 janvier 1776, six nouveaux édits : le premier supprimait les corvées; le quatrième abolissait les jurandes et les maîtrises. Après avoir relevé l'Agriculture, il ouvrait ainsi à l'industrie une carrière indéfinie.

En supprimant les corvées, le grand réformateur voulait détruire les priviléges de la noblesse et du clergé en matière d'impôts. En abolissant les jurandes et les maîtrises, il proclamait la liberté du travail comme il avait proclamé celle du commerce, disant éloquemment dans son nouvel exposé : « Dieu a fait du droit de travailler la propriété de tout homme. C'est la première, la plus sacrée de toutes. »

On sait, en effet, que, à cette époque, l'exercice des différents arts et des différents métiers était entre les mains d'un petit nombre de Maîtres réunis en corporations et pouvant seuls, par privilège exclusif, fabriquer ou vendre les produits de leur commerce particulier. Notre but n'est pas de passer en revue les dispositions absurdes et tyranniques adoptées par la plupart des corporations. Nous citerons deux faits au hasard. Dans certains métiers, les jeunes gens qui se mariaient avant d'être maîtres étaient exclus de l'apprentissage et, par conséquent, de la maitrise. Les femmes ne pouvaient exercer la broderie pour leur propre compte.

Le lit de justice tenu à Versailles le 12 mars 1776, et dans lequel les édits furent enregistrés, fut le dernier triomphe de Turgot. Il avança sa chute.

Les privilégiés assaillirent le roi, profitant habilement de son désir d'être aimé. Les visages des courtisans, à plaisir sombres et mécontents, lui pesaient. Après avoir dit : « Je vois bien qu'il n'y a que moi et M. Turgot qui aimions le peuple », il murmurait maintenant : « M. Turgot ne se fait aimer de personne. » La disgrâce fut complète, le roi ne vit même pas son ministre une dernière fois, il lui envoya l'ordre de résigner ses fonctions. C'était comme s'il avait, de sa propre main, déchaîné la révolution à courte échéance.

La réaction fut extrême, et jamais l'esprit de privilège ne se montra plus exigeant qu'en 1781, l'année même de la mort de Turgot qui, auparavant, avait eu l'amer chagrin de voir annuler ses édits. On croit rêver en lisant, daté de 1784, un arrêt du Parlement de Paris défendant de moissonner les blés à la faux. Voilà comment ce Parlement, restauré en 1774, comprenait l'Agriculture. Un autre arrêt, de 1786, ordonne que tous les mouchoirs fabriqués dans le royaume seront désormais de forme carrée, aussi longs que larges, et pas autrement. Voilà comment le même Parlement comprenait l'industrie.

Mais il arrive toujours une heure où les choses indispensables se défendent d'elles-mêmes et, périclitant par suite des accidents naturels, s'imposent forcément à l'attention inquiète des plus indifférents ou des plus ignorants. C'est ce qu'on allait voir une fois de plus.

En plein XVIIIe siècle, J.-J. Rousseau avait retrouvé *la nature*. Quelques grands seigneurs, fatigués de la cour et d'une vie plus artificielle qu'à aucune autre époque, ou parfois exilés, retournèrent vivre sur leurs domaines, imitèrent les Anglais et se passionnèrent pour les progrès agricoles. Leur nombre grossit peu à peu, la mode s'en mêla, et un courant mêlé de sérieux et d'engouement factice se forma. Il devait aboutir d'une part à la création de la Société royale d'Agriculture de Paris, et d'autre part à Trianon.

Bertin, alors contrôleur général et qui devait en 1776

annoncer sa disgrâce à Turgot, eut l'honneur, en 1761, de faire instituer par lettres du Conseil cette illustre Société, *prima inter pares*, et celles des principales généralités.

Il y avait eu quelques efforts louables en faveur de l'Agriculture à la fin du règne de Louis XV, comme le prouvent les édits de 1761, de 1764 et de 1766, sur les desséchements et les défrichements, sur les baux à long terme, sur les races de bestiaux indigènes et la propagation de cultures nouvelles, sur le libre commerce des grains à l'intérieur et à l'extérieur (ce dernier édit avait été abrogé par l'abbé Terray le 23 décembre 1770, et ce fut cette mesure funeste qui motiva l'énergique retour offensif de Turgot). Mais toutes les mesures intelligentes dont nous parlons n'étaient pas dominées par une vue d'ensemble et ne coupaient pas le mal dans sa racine, ainsi que les édits de Turgot osèrent le tenter.

En 1785, par suite d'une sécheresse exceptionnelle, les foins manquèrent dans les trois quarts du royaume, et l'on craignit d'être forcé de sacrifier le bétail dans une très forte proportion.

Le gouvernement chercha un remède et n'en trouva pas d'autres que ceux que Turgot aurait indiqués; car, le 1er juin, un arrêt du Conseil suspendait les droits sur les fourrages étrangers. Calonne, alors contrôleur général, fit appel aux lumières de plusieurs membres de l'Académie des Sciences pour rédiger les instructions qu'il voulait envoyer dans toutes les provinces, afin de remédier le mieux possible à la crise. Satisfait du concours empressé qu'il obtint, il eut l'idée de composer des mêmes membres un comité permanent, qui prit le nom de Comité d'administration de l'Agriculture, et qui ne devait être dans le principe qu'un Comité consultatif chargé d'éclairer le Ministre dans les questions techniques rurales.

Ce Comité dura trois ans, de 1785 à 1787. La pensée juste et utile de Calonne qui, développée par les membres du Comité, aurait pu assurer l'unité des réformes agricoles, avorta comme toutes les tentatives faites pour prévenir la transformation violente de l'ancien régime. Cette pensée a été ignorée des historiens, et il n'en resterait aucune trace sans

les procès-verbaux du Comité, heureusement conservés aux Archives nationales ([1]).

Le Comité fut d'abord composé, sous la présidence de M. Gravier de Vergennes, neveu du ministre des affaires étrangères, de MM. Tillet, Darcet, Lavoisier, Dupont de Nemours et Poissonnier. M. Lubert, chef du bureau de l'Agriculture, devait lui servir de secrétaire. Le grand Lavoisier, ce génie si profondément français, en fut l'âme. Ce fut lui qui rédigea en réalité les procès-verbaux des séances et les délibérations du Comité, ainsi que le constatent les minutes autographes retrouvées par M. Ed. Grimaux dans les papiers de Lavoisier ([2]). M. Lubert s'acquitta surtout des détails d'exécution.

Lavoisier, qui, dès 1783, fit partie de la Société d'Agriculture de Paris, s'occupa toute sa vie des progrès dont l'Agriculture était susceptible. Il se montra toujours préoccupé de répandre l'instruction agricole et, en même temps, de soulager et d'élever les agriculteurs. Il dut donc accepter avec joie de faire partie du Comité d'Agriculture et se dévouer à cette tâche aussi ingrate qu'utile. Il avait acheté, en 1778, le domaine de Fréchines, sur la route de Blois à Vendôme, et y poursuivit pendant quinze ans de sagaces expériences, parmi lesquelles nous citerons celles relatives au parcage des bêtes à laine. C'est ainsi qu'il fut en mesure de rédiger pour le Comité d'Agriculture la célèbre *Instruction sur le parcage*, publiée par ordre du roi et envoyée dans toutes les provinces ([3]).

([1]) Ces procès-verbaux ont été découverts et publiés, avec des notes fort intéressantes, par MM. Henri Pigeonneau, professeur à la Faculté des Lettres, et Alfred de Foville, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, sous ce titre : *L'Administration de l'Agriculture au contrôle général des Finances* (1785-1787), un vol. in-8°. (Guillaumin, 1882). C'est là un document d'une réelle valeur, non seulement en ce qui concerne l'état de l'Agriculture avant 1789, mais encore au point de vue du mouvement général des idées à cette heure critique de notre Histoire.

([2]) *Lavoisier, d'après sa correspondance, ses manuscrits, ses papiers de famille et d'autres documents inédits,* par M. Ed. Grimaux, professeur à l'École Polytechnique, un vol. gr. in-8°, avec dix gravures (Félix Alcan, 1888).

([3]) *Voir* dans l'Ouvrage déjà cité de MM. H. Pigeonneau et A. de Foville (p. 291 et suiv.), les critiques mal fondées de l'agronome anglais Arthur Young sur cette Instruction et la verte réponse de Lavoisier.

Peu à peu, les Mémoires reçus sur les diverses questions à l'ordre du jour forcèrent le nouveau Comité à sortir de sa première réserve et à agrandir son rôle d'abord fort modeste, en devenant pour ainsi dire un conseil de législation et d'administration, un Conseil supérieur de l'Agriculture.

L'intérêt personnel du président Gravier de Vergennes devait le rendre favorable à cette transformation. Mais il n'en fut pas de même du Contrôleur général qui se refroidit et borna son aide effective aux trois mille livres accordées lors de la formation du Comité, et que celui-ci avait employées immédiatement à acheter en Allemagne des graines de betterave champêtre ou *racine de disette,* afin de les distribuer dans les provinces, en raison du manque de fourrages pour la nourriture des bestiaux.

Une lutte d'influence qui éclata entre la Société d'Agriculture et le Comité, et qui porta l'illustre Parmentier et M. Thouin, directeur du Jardin du roi, à refuser d'y entrer, n'empêcha pas le Comité de poursuivre la tâche que les circonstances, plutôt que sa volonté, lui avaient imposée. Il s'était accru, à la fin de 1786, de membres importants, tels que M. le duc de Larochefoucauld-Liancourt, M. de Cheyssac, grand-maître des eaux et forêts, et M. de Lazowski, ancien précepteur des enfants du duc de Liancourt et très bon agronome, qu'il ne faut pas confondre avec son frère, ami de Robespierre et l'un des orateurs influents du club des Jacobins.

Calonne disgracié, Loménie de Brienne devint chef du Conseil royal des Finances, et le nouveau Contrôleur général, Laurent de Villedeuil, retint le département de l'Agriculture dans ses attributions. C'est à ce titre qu'il reçut les membres du Comité le 31 juillet 1787, et qu'il présida la séance où Lavoisier, dans un Mémoire capital (1), lui présenta les vœux de ses collègues.

Après d'intéressants détails sur les travaux et les vues du

---

(1) MM. H. Pigeonneau et A. de Foville regrettent avec raison de ne pas le voir figurer dans les Œuvres du grand chimiste. D'après M. Grimaux, le texte du manuscrit autographe est plus étendu que celui reproduit dans les procès-verbaux.

Comité demeurées sans suite, parce que le ministre n'a point affecté de fonds pour les opérations désirées; après avoir constaté que « l'Agriculture manquait principalement en France d'engrais et de bestiaux; » qu'on devait, par conséquent, diriger les premiers efforts vers l'augmentation des fourrages; « car il faut bien que la subsistance précède la population ou que celle-ci périsse; » Lavoisier, au cours de son exposé, prononça ces fermes paroles :

« Le défaut de lumières et d'instruction ne sont pas les seules causes qui s'opposent en France au progrès de l'Agriculture; c'est dans nos institutions et dans nos lois qu'elle trouve des obstacles plus réels, et le Comité a cru pouvoir s'en occuper dans le secret et la confiance de l'Administration. »

Il énonça ensuite en huit articles, avec une noble franchise et l'éloquence de la raison, les améliorations ou les progrès indispensables : suppression de la taille dans ce qu'elle a d'arbitraire; continuation du bienfait de la suppression des corvées; suppression des dîmes de toutes sortes; modifications à apporter à la forme vexatoire de la plupart des perceptions établies sur les consommations, qui donnent lieu actuellement à des recherches indécentes et inhumaines; limitation du droit de parcours, là où il subsiste; suppression du droit de banalité des moulins et obstacles apportés aux retenues d'eau que leurs propriétaires se permettent d'établir, et qui convertissent les meilleurs pâturages en prairies marécageuses; enfin, suppression du régime prohibitif, par lequel le gouvernement semble défendre à la nation de récolter du blé au delà de sa propre consommation et lui dire en quelque sorte : « Récoltez moins de blé, ou laissez-le périr dans vos greniers et y devenir la proie des insectes. »

Lavoisier conclut en demandant l'organisation définitive du département de l'Agriculture, et il déclara que les dépenses nécessaires seraient un placement aussi avantageux pour le roi que pour la nation.

M. de Brienne ne se montra pas favorable au Comité. Il fit sentir que l'extension désirée lui déplaisait, et découragea le zèle de ces savants et de ces bons citoyens.

Les procès-verbaux des Archives nationales se terminent

à la date du 18 septembre 1787. A partir de cette date, et sauf le procès-verbal d'une séance du 6 novembre suivant, trouvé dans les papiers de Lavoisier, on ne rencontre plus aucune trace du Comité d'administration de l'Agriculture. Le 30 mai 1788, un arrêté transporta à la Société royale d'Agriculture ses attributions les plus importantes, tandis que le département de l'Agriculture fut réduit à un simple bureau.

Cette tentative de rénovation sans violence avait échoué comme toutes les autres. Le rôle des sages était fini.

Et pourtant, pendant ce malheureux règne où l'on voyait se hâter la catastrophe avec une effrayante rapidité, malgré les efforts les plus nobles et les plus éclairés, l'Agriculture accomplissait les deux plus grandes conquêtes qu'elle eût faites depuis des siècles, les deux seules qu'on puisse comparer à l'introduction du maïs (1650) et à celle de la soie.

La pomme de terre était connue et cultivée en France à la fin du XVIe siècle. On en trouve la description dans Olivier de Serres, sous le nom de *cartouffle*. Mais elle fut accusée, comme le montre un arrêt du Parlement de Besançon, de donner la lèpre ou tout au moins des fièvres, et la culture en fut presque abandonnée et méprisée.

On revint lentement sur ce dédain peu motivé. Duhamel du Monceau défendit, en 1761, le précieux tubercule; Turgot se fit délivrer par la Faculté de Médecine de Paris une consultation qui l'innocentait complètement et, grâce à lui, la culture s'en propagea dans le Limousin.

Enfin, en 1778, Parmentier sut gagner la partie en mettant la pomme de terre à la mode. Il l'analysa et obtint un ordre du roi pour en ensemencer à Grenelle cinquante-quatre arpents de la plaine des Sablons, jusque-là d'une stérilité absolue. On se moqua de ce fou. Mais la plante poussa, ses jolies petites fleurs bleues parurent. Il en fit un bouquet qu'il porta au roi, et Louis XVI le mit publiquement à sa boutonnière. Parmentier, habilement, ne s'en tint pas là. Lorsqu'on atteignit le moment de la récolte, il eut l'idée de faire garder le champ par un cordon de gardes-françaises, avec la consigne la plus sévère pendant le jour, et l'ordre de dormir ou d'en faire semblant pendant la nuit. Attirés par ce déploiement de forces

et cette protection jalouse mais intermittente, les maraudeurs s'en donnèrent à cœur-joie et pillèrent la plantation. Le succès de la pomme de terre était assuré, elle devint populaire, et la famine compta un ennemi de plus.

Daubenton, le célèbre collaborateur de Buffon, en faveur duquel on avait fondé une chaire d'Économie rurale à l'École vétérinaire d'Alfort ou de Charenton, établie dès 1766, et la première chaire publique d'Histoire naturelle au Collège de France, introduisait aux environs de Paris, vers l'époque du triomphe de Parmentier, la race espagnole du mouton mérinos, en même temps qu'il publiait, en 1782, sa célèbre *Instruction pour les bergers*. La naturalisation de cette race était une aussi belle conquête que la propagation de la pomme de terre.

Le Commerce et l'Industrie, malgré tout, ne restaient pas en arrière. Un souffle d'espérance s'était élevé. *Mens agitat molem :* rien de plus vrai. La colonie de Saint-Domingue, Haïti aujourd'hui perdue, qu'il aurait été si facile et si heureux, pour elle-même et pour nous, de rattacher et de conserver à la mère-patrie, donnait lieu à un mouvement d'au moins deux cents millions de livres, dont Bordeaux recueillait la plus grande partie. Toutes nos villes principales s'enrichissaient, leurs plus beaux quartiers datent de cette époque; et c'est à ce moment qu'on achevait à Paris la place Louis XV, en élevant sur les deux côtés de la rue Royale le Ministère de de la Marine et le Garde-meuble.

Quant à l'Agriculture, en lisant les procès-verbaux des soixante-neuf séances du Comité d'administration, tracés par la main de Lavoisier, de 1785 à 1787, on peut se rendre un compte assez exact de ses besoins et de ses progrès au point de vue scientifique; mais on voudrait la saisir d'une manière plus réelle, dans ses mille détails, et voir de près la vie des agriculteurs eux-mêmes.

Comment y parvenir? Il nous faudrait un témoin, sinon impartial, du moins sincère, d'une sincérité absolue.

Ce témoin, nous le possédons heureusement, et c'est un Anglais célèbre, Arthur Young, qu'on ne peut certainement accuser de faiblesse pour la France. Il a des préjugés de race, de passions, d'habitudes; mais une fois qu'on s'est fami-

liarisé avec ces préjugés, qu'il ne cache pas, bien au contraire, on peut s'en rapporter tout à fait à sa bonne foi. Il dédaigne trop les choses du continent et tout ce qui n'est pas strictement anglais. Il n'admet pas, par exemple, la petite propriété, il n'en conçoit pas les avantages et la crible de ses sarcasmes. Il est doué d'une indépendance presque farouche, qui l'entraîne quelquefois au delà des justes bornes; mais il a du cœur et, s'il n'est pas un grand philosophe, il a de bons yeux. Le miroir qu'il nous a laissé en écrivant ses observations, est un miroir fidèle.

Dans la seconde partie de ce travail, nous prierons le lecteur de refaire avec nous, à grandes enjambées, les voyages de Young.

(*A suivre.*)



LA TAILLE ET LA RACE,

Par M. E. LEVASSEUR.

SOMMAIRE.

La taille moyenne des conscrits et ses variations. — L'échelle des tailles et le mélange des types. — La taille par département. — La taille dans les pays étrangers. — Les langues. — Les races.

La taille moyenne des conscrits et ses variations. — La taille est un des caractères importants de l'état physique des individus. Nous en avons déjà parlé à propos des origines de la population française [1].

Les dénombrements sont muets sur cette question.

Les données statistiques que l'on peut trouver dans d'autres documents sont très peu nombreuses pour les femmes. Quetelet admettait qu'en Belgique la femme, à partir de 20 ans, avait environ $0^m,10$ de moins que l'homme [2]; M. Topinard porte la différence à $0^m,12$ [3]; cette opinion est partagée par plusieurs anthropologistes : c'est tout ce que nous dirons sur ce point.

(1) Cet article est extrait d'un Ouvrage sur la *Population française* qui est sous presse. Il y est traité des origines de la population française dans le Livre I, Chap. IV.

(2) Voir *Anthropométrie*, p. 177. D'après lui, la taille moyenne en Belgique, à l'âge de 30 ans, serait de $1^m,686$ pour l'homme et de $1^m,580$ pour la femme.

(3) Résultats de 73 observations doubles. Voir *Revue d'Anthropologie,* 1876. D'après des observations faites aux États-Unis (à Boston), les garçons auraient environ $0^m,49$ et les filles $0^m,48$ à la naissance; à 11 ans, les filles prendraient l'avantage ($1^m,48$ à 13 ans, les garçons ayant $1^m,45$); après la puberté, leur croissance se ralentit et les garçons reprennent la supériorité vers 15 ans. (Voir *Éléments d'Anthropologie générale,* par M. le professeur PAUL TOPINARD, p. 418.)

Nous possédons plus de données sur les hommes.

Car les jeunes gens de 20 ans qui sont soumis à la conscription fournissent des mesures qui, sans être à l'abri de la critique, sont néanmoins assez nombreuses pour que la statistique en tire quelques conséquences.

La taille moyenne du contingent en France a été de 1m,654 en moyenne pour la période décennale 1857-1866 (1). On peut regarder ce chiffre comme représentant une moyenne générale et s'en servir pour vérifier si la taille des Français a une tendance à diminuer, ainsi qu'on le répète souvent (2). (Voir *fig.* 1).

---

(1) Pour la période 1859-1868, qui est à peu près la même, M. Ely a trouvé 1,653. (*Dict. encyclopédique des Sciences médic.*, art. *Recrutement.*)

Déjà à une époque antérieure, M. d'Augeville (*voir* Dufau, *Traité de Stat.*, p. 174), calculait, d'après les données du ministère de la Guerre, que le contingent de 1825 à 1829 avait une taille moyenne de 1m,657, à une époque où le maximum de la taille était plus élevé.

(2) La croyance à une diminution paraît fondée en partie sur le minimum de taille exigé par les lois de recrutement et qui a diminué :

Loi du 11 mars 1818	1m,57
» 11 décembre 1830	1m,54
» 11 mars 1832	1m,56
» 1er février 1868	1m,55
» 27 juillet 1872	1m,54

Mais les considérations qui ont fait abaisser ce minimum sont d'ordre militaire et non d'ordre anthropologique. Sous Louis XIV, on recherchait les grandes tailles plus encore que sous la Restauration, et le minimum de l'ordonnance de 1691 est de 1m,705 en temps de paix et de 1m,678 en temps de guerre.

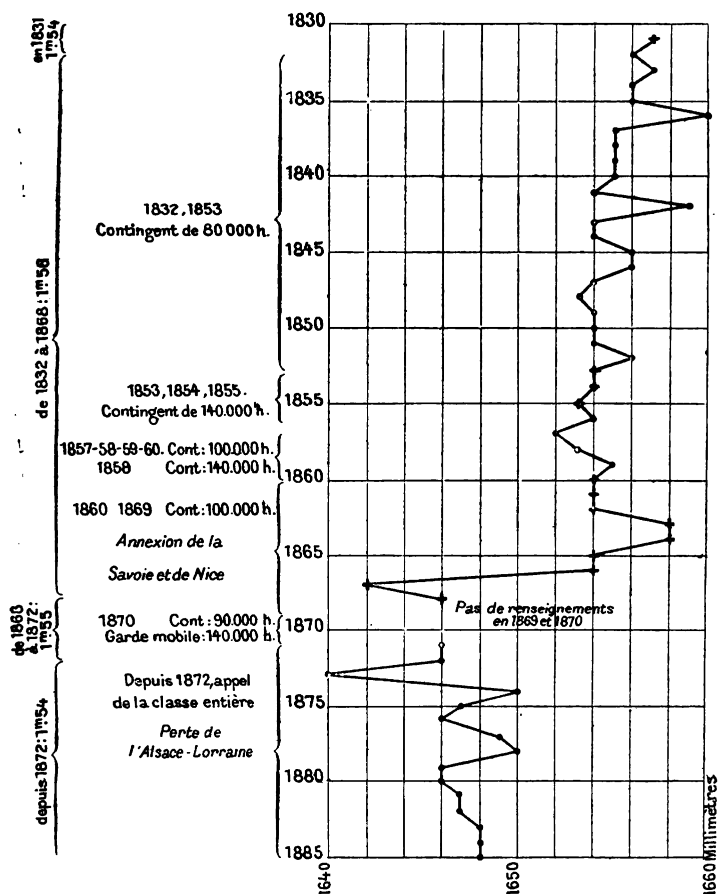
Il y a aussi des partisans de l'opinion contraire. M. Tschourilof est du nombre de ceux qui croient que la taille a augmenté. Dans un article publié par le *Journal de la Société de Statistique de Paris* (1876), et dans son *Étude sur la dégénérescence des peuples civilisés* (1876), il a comparé le nombre total des jeunes gens examinés et le nombre des jeunes gens exemptés pour défaut de taille, et il a trouvé les proportions suivantes d'exemptés pour 100 examinés :

1831-35	10,5	1851-55	7,7
1836-40	9,3	1856-60	7,5
1841-45	8,3	1861-66	6,6
1846-50	8,3		

Mais l'auteur paraît n'avoir pas remarqué que ces contingents ayant été plus considérables à partir de l'année 1853, le nombre des exemptés a pu être réduit par suite d'un examen plus sévère.

La moyenne décennale de la période 1832-1841, pendant laquelle le minimum de la taille est resté le même, mais le

Fig 1.



Taille moyenne du contingent pour le recrutement de l'armee.
Les croix + et les points • alternent sur la courbe pour indiquer les changements dans la taille ou dans le contingent.

chiffre du contingent a été moindre qu'en 1857-1866, était de $1^{m},656$; la différence entre les deux périodes est donc très peu sensible, et cependant la Savoie et Nice, où les petites tailles

sont en majorité, ne contribuaient pas à fournir le contingent de la Restauration ([1]).

Pour la période 1874-1883, la moyenne est inférieure, puisqu'elle n'est que de 1m,648.

Mais il importe de savoir que les quantités ne sont pas comparables. Durant les deux premières périodes le minimum de la taille était de 1m,56; or, comme la moyenne n'est établie que sur le contingent, c'est-à-dire sur les conscrits reconnus aptes au service et, par conséquent, ayant au moins 1m,56, cette moyenne doit être nécessairement supérieure à celle de 1874-83 qui est calculée sur un groupe dont la taille descend jusqu'à 1m,54. Il faut donc, pour essayer de résoudre le problème, chercher d'autres éléments.

On peut dire, en premier lieu, que lorsqu'on compare groupe par groupe des éléments semblables, c'est-à-dire des contingents égaux en nombre et soumis au même minimum de taille, on aperçoit d'une année à l'autre des variations accidentelles, mais on ne constate pas, sur la courbe, de tendance à un abaissement régulier depuis 1837 et surtout de 1841 à 1866 ([2]).

D'autre part, si l'on compare par degré de taille les résul-

([1]) La *Statistique générale de France* a calculé la proportion des tailles ordinaires et des tailles élevées de 1831 à 1865. Le rapport a peu varié; les grandes tailles, qui avaient un peu faibli, ont augmenté dans la dernière période.

	PROPORTION pour 100 jeunes gens examinés.	
	Tailles ordinaires 1m,560 à 1m,705.	Tailles élevées 1m,706 et au-dessus.
1831-35........	82,42	17,58
1836-40........	82,48	17,52
1841-45........	82,89	17,11
1846-50........	83,33	16,67
1851-55........	83,51	16,49
1856-60........	83,36	16,62
1861-65........	83	17

([2]) La courbe a été dressée à l'aide des moyennes de l'*Annuaire statistique de la France,* qui diffèrent quelquefois légèrement de celles des *Comptes rendus sur le recrutement de l'armée.*

tats des deux périodes quinquennales 1837-42 et 1863-68, à trente ans de distance et sous le régime de la même loi, on constate qu'il n'y a pas eu diminution du nombre des hommes reconnus aptes au service; dans la première, on trouve 116 individus sur 1000 ayant moins de 1m,56; dans la seconde, 81 (1). Nous n'allons pas jusqu'à conclure de ce document qu'il y avait proportionnellement moins de petites tailles dans la seconde période, parce que l'obligation où étaient les conseils de revision de trouver un contingent de 100,000 hommes, tandis qu'on ne leur en demandait que 80,000 dans la première, a dû les rendre plus sévères et réduire le nombre de ceux qui, étant sur la limite, parvenaient, par complaisance des examinateurs ou par fraude des examinés, à se faire exempter. Mais nous remarquons que, parmi ceux qui ont été reconnus aptes au service, les groupes de taille ont à peu près le même nombre de représentants aux deux époques, et nous concluons qu'il n'y a pas eu de changement véritablement digne de remarque.

Si l'on compare les résultats des deux périodes 1873-77 et 1879-83, dont les cadres ne concordent pas avec ceux de la première série, on trouve, sur 1000 individus du contingent de l'armée active, 315 ayant de 1m,54 à 1m,62 dans la première et 293 dans la seconde. Les petites tailles propres au service

(1)

	1837-42	1863-68
Moins de 4 pieds 8 pouces 19 lignes ½ (1m,56)	116	81
De 4 pieds 8 pouces 19 lig. ½ à 4 pieds 10 pouces	28	29
De 4 pieds 10 pouces à 5 pieds	240	266
De 5 pieds à 5 pieds 2 pouces	330	323
De 5 pieds 2 pouces à 5 pieds 4 pouces	218	232
De 5 pieds 4 pouces à 5 pieds 6 pouces	59	58
De plus de 5 pieds 6 pouces	9	11
	1000	1000

Voir dans le *Dict. encyclopédique des Sciences méd.* l'article *Taille*, de M. J. BERTILLON. M. Lagneau (*Anthropologie de la France*), dans le même recueil, arrive par un autre calcul à un résultat analogue; il constate que de 1844 à 1868 le nombre des exemptés pour défaut de taille a été en diminuant (84 sur 1000 en 1844 et 50 en 1868). Il est vrai que le contingent étant plus considérable, les conseils de revision se sont probablement montrés plus rigoureux.

restent à peu près dans le même rapport et il en est ainsi pour tous les groupes de taille ([1]).

Quoiqu'on possède plus de renseignements pour le sexe masculin que pour le sexe féminin, on ne peut cependant pas déterminer avec précision la moyenne de la taille de tous les jeunes gens de 20 ans en France. On ne connaît que celle du contingent; or cette moyenne particulière étant calculée à l'exclusion des tailles inférieures au minimum légal, doit être de ce chef quelque peu supérieure à la moyenne générale des Français de 20 ans. D'autre part, la vingtième année n'est pas le terme de la croissance qui ne se termine guère que vers 25 ans pour les hommes ([2]) et, de ce chef, la moyenne doit être trop faible. En supposant que les deux causes d'inexactitude

---

([1]) Il y aurait même plutôt augmentation dans les tailles au-dessus de $1^m,67$; mais la moyenne annuelle des exemptés pour défaut de taille a été moins forte dans la première période (5259 sur un contingent annuel de 155 330 jeunes gens reconnus aptes au service) que dans la seconde (7015 sur 153 600).

GROUPES DE TAILLES de jeunes gens du recrutement ayant la taille réglementaire.	1873-77	1879-83
De $1^m,54$ à $1^m,62$	31,5	29,3
De $1^m,63$ à $1^m,64$	14,9	14,4
De $1^m,65$ à $1^m,66$	15,1	14,7
De $1^m,67$ à $1^m,69$	16,5	18,4
De $1^m,69$ à $1^m,72$	12,2	12,8
Plus de $1^m,72$.........	9,8	10,4
	100,0	100,0

([2]) Des observations faites par M. Gould sur 1 104 841 cas (voir *Éléments d'Anthropologie gén.*, par M. Topinard, p. 431), il résulte qu'en Amérique la taille moyenne était de $1^m,719$ à 20 ans et de $1^m,727$ à 26 ans. Avant les recherches de Gould, Quetelet conjecturait que l'homme n'atteint son plein développement qu'à 25 ans; Roberts dans son *Manuel of Anthropometry* (1878) établit que la taille n'a tout son développement qu'entre 25 et 30 ans; P. Riccardi dans *Statura e condizione sociale* (1885), qu'elle l'atteint entre 20 et 35 ans. M. Champouillon a trouvé un accroissement de taille dans les jeunes gens appelés pour la garde mobile en 1868 qui avaient été conscrits en 1864, 1865 et 1866 (*Étude sur le développement de la taille. Recueils de Mémoires de Méd., de Chir. et de Pharm. militaires,* 1869, T. XXII, p. 244). Des mesures prises à la Préfecture de police par M. Alp. Bertillon semblent confirmer ce fait qui paraît suffisamment prouvé (*Voir* l'article *Taille* dans l'*Encyc. des Sc. méd.*).

se compensent, on peut dire qu'en France la taille moyenne des adultes est un peu supérieure à $1^m,65$ pour les hommes et qu'elle est vraisemblablement de $1^m,54$ environ pour les femmes.

La dégénérescence générale de la race française doit être, ainsi que la longévité des hommes du temps passé dont nous parlerons dans un autre chapitre [1], réléguée en grande partie dans la catégorie des opinions préconçues, et nous pouvons dire que les Français de la seconde moitié du XIX[e] siècle paraissent avoir à peu près la même taille que leurs pères et probablement que leurs grands-pères du siècle passé [2].

Il y a des phénomènes particuliers de dégénérescence. Les grandes agglomérations et le paupérisme ne sont certes pas favorables au développement physique de l'être humain; on en a donné des preuves statistiques et l'on comprendrait même sans preuves qu'il en doit être ainsi. Mais on a donné aussi de nombreuses preuves de l'influence salutaire que le bien-être exerce sur la croissance des enfants comme sur leur santé; or, le bien-être est plus général aujourd'hui qu'autrefois,

(1) Cette question est traitée dans le Livre II, Chap. XVII, *Tables de survie,* de notre Ouvrage sur la *Population française.* — M. Tschourilof (*Étude sur la dégénérescence physiologique des peuples civilisés*) a étudié le recrutement de 1816 à 1870 et a traduit sous forme graphique le nombre des exemptions pour diverses causes. On y voit certaines variations de la courbe que l'auteur explique en partie par l'influence atavique et par les infirmités de générations nées de générations appauvries elles-mêmes par la guerre; mais on n'y voit pas en général d'accroissement des infirmités, sinon peut-être pour la faiblesse de constitution qui motivait moins d'exemptions avant 1840.

(2) D'ailleurs les squelettes que l'on trouve dans les tombeaux de l'époque gallo-romaine ou du moyen-âge n'accusent pas de différence sensible entre la taille moyenne des générations contemporaines et celle des anciens habitants de notre pays. A en juger par la longueur du fémur (indice peu précis, d'ailleurs), les squelettes des âges préhistoriques appartenaient à des races dont quelques-unes devaient, en effet, être très grandes (squelette du Cro-Magnon, $1^m,90$, spécimen unique, d'ailleurs), ou grandes (squelette de la grotte de la Madeleine, $1^m,70$, spécimen unique aussi), mais dont la plupart étaient ou de la taille actuelle (13 squelettes des dolmens de la Lozère, $1^m,67$) ou plus petits que les Français d'aujourd'hui (12 squelettes de la grotte de l'Homme-Mort, $1^m,62$, 26 squelettes de la grotte de Beaumes-Chaudes et d'Orrouy, $1^m,60$).

et l'accroissement de la richesse est lié dans une certaine mesure à celui de la population urbaine.

Roberts, comparant des adolescents et de jeunes hommes appartenant les uns à la classe la plus riche de l'Angleterre, les autres à la classe des artisans, a trouvé que les premiers avaient une croissance plus précoce que les seconds et conservaient dans l'âge adulte la supériorité de la taille ([1]), d'autres, pesant les enfants des riches et ceux des pauvres, ont trouvé que les premiers avaient généralement plus de poids ([2]).

Il ne semble pas prouvé que le séjour des villes soit défavorable à la taille. Quetelet avait déjà remarqué, il y a une cinquantaine d'années, qu'à Bruxelles, à Louvain et à Nivelles les conscrits étaient un peu plus grands que dans les campagnes environnantes ([3]). Si à Genève on a constaté qu'il n'existait pas de différence entre la ville et la campagne et, en Saxe, que les campagnes ont un léger avantage ([4]), si l'exercice de certains métiers sédentaires des villes, comme celui de tailleur, est jugé peu propre à développer le corps, si les conscrits des arrondissements manufacturiers de Lille, Valenciennes, Hazebrouck sont moins grands que ceux de Dunkerque et d'Avesnes, il ne ressort pas moins de l'ensemble

---

([1]) *Manual of anthropometry.*

([2]) *Voir* la communication déjà citée de M. Manouvrier.

([3]) Moyennes des observations faites sur les conscrits de 1823 à 1827 :

Bruxelles......	1m,662	Communes rurales.	1m,632
Louvain.......	1m,639	»	1m,618
Nivelles.......	1m,642	»	1m,632

([4]) La Saxe a relevé (de 1852 à 1854) la taille des conscrits en distinguant les villes et les campagnes :

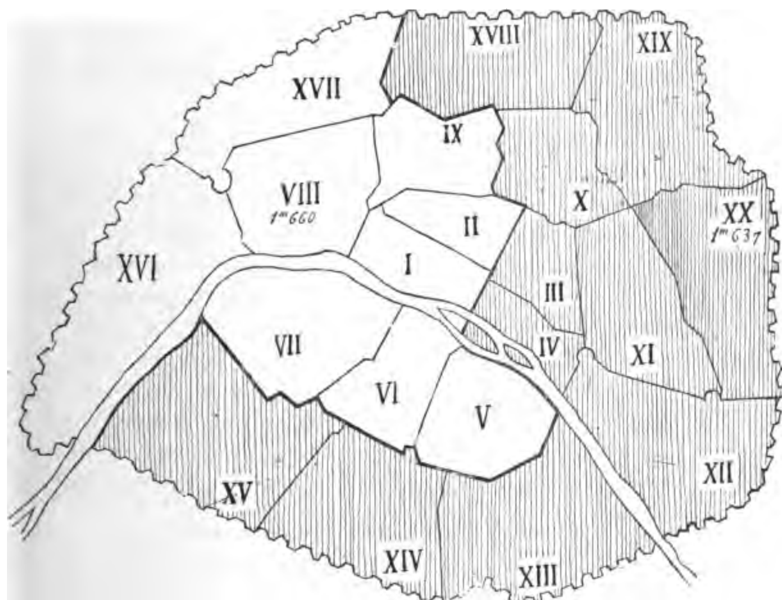
	Villes.	Campagnes
Moins de 1m,557..........	15	14,6
De 1m,557 à 1m,604.......	17,8	17,6
De 1m,604 à 1m,675.......	42,0	42,1
Plus de 1m,675...........	35,2	35,7

Ce rapprochement montre qu'en Saxe l'influence des villes sur la taille est très peu sensible, tandis qu'elle paraît l'être davantage sur la santé (sur 100 conscrits, il y avait 19,7 reconnus bons pour le service dans les campagnes et 26,6 dans les villes).

des observations que la taille, comme la vigueur de la constitution, bénéficient de l'aisance des populations ([1]).

Une des plus intéressantes est celle que Villermé et, après lui, MM. Topinard et Manouvrier ont tirée de la taille des

Fig. 2.



Taille des conscrits à Paris par arrondissements (1880-1881), (figure communiquée par M. Manouvrier.)

conscrits à Paris. Le premier, calculant sur les résultats du recrutement de 1816 à 1823, assignait une moyenne de 1m,683 aux jeunes gens déclarés aptes au service dans la capitale, et

---

([1]) La même statistique de la Saxe fournit une preuve de cette influence. Ainsi, pendant que sur 100 conscrits, les paysans, valets de ferme, etc., en ont 15,4 de réformés pour défaut de taille (moins de 1m,557), les mineurs 18,3, les tailleurs 22,9, les professeurs, étudiants et séminaristes en ont en moyenne un peu moins de 4. — C'est ainsi que les arrondissements pauvres de Paris perdent beaucoup plus d'enfants que les arrondissements riches.

seulement de $1^m,675$ et $1^m,674$ à ceux des arrondissements de Saint-Denis et de Sceaux; dans la capitale même, il trouvait pour ceux des six arrondissements réputés les plus riches (1), une moyenne de $1^m,690$ à $1^m,681$, et pour les six moins riches, une moyenne de $1^m,681$ à $1^m,677$. M. Manouvrier, calculant sur les classes de 1880 et 1881, a trouvé que les arrondissements où il y avait beaucoup d'inhumations gratuites (68 pour 100) (XXe, XIe, IVe et XVe) étaient aussi ceux dont les jeunes gens avaient la moyenne des tailles la plus faible ($1^m,637$ à $1^m,640$), et qu'au contraire ceux (IXe, IIe, XVIIe, Ier, XVIe, VIIe, VIe et VIIIe) où il y avait le moins d'inhumations de ce genre (40 pour 100) avaient les plus grandes tailles ($1^m,647$ à $1^m,660$), et il a dressé une carte (voir *fig.* 2) sur laquelle sont ombrés les 11 arrondissements où la taille moyenne est inférieure à $1^m,646$; il est facile de voir que cette partie ombrée est celle qui renferme les quartiers les plus pauvres de Paris et si les IIe et IIIe arrondissements se trouvent dans cette catégorie, il est vraisemblable que l'agglomération d'une population très dense dans de petits ateliers est une des causes de cette situation (2).

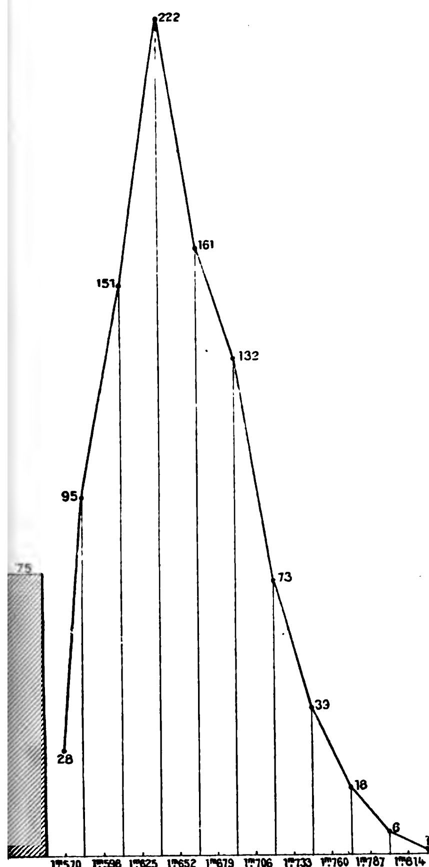
L'échelle des tailles et le mélange des types. — Il n'est pas d'ailleurs de département où il ne se rencontre des jeunes gens de toutes les tailles. Toutefois le nombre des grandes et des petites tailles va en décroissant à mesure qu'on s'éloigne de la moyenne particulière au département. Certains départements ne présentent qu'un maximum, concordant avec leur taille moyenne; d'autres en ont deux, disposition qui est indiquée plus loin sur la carte des tailles et qui autorise à supposer soit l'existence de deux types, soit deux catégories de familles différant sensiblement sous le rapport du bien-être. Les figures suivantes, empruntées à un Mémoire de M. Bertillon et représentant l'échelle des tailles dans le département de la

(1) C'étaient les Ier, IIIe, IIe, VIIe et V^e arrondissements. La contribution personnelle y variait de $0^{fr},49$ à $0^{fr},28$ par tête, tandis que dans les six autres, elle n'était que de $0^{fr},25$ à $0^{fr},20$.

(2) *Voir* la communication de M. Manouvrier dans le *Bulletin de la Société d'Anthropologie de Paris,* février à avril 1888, p. 156.

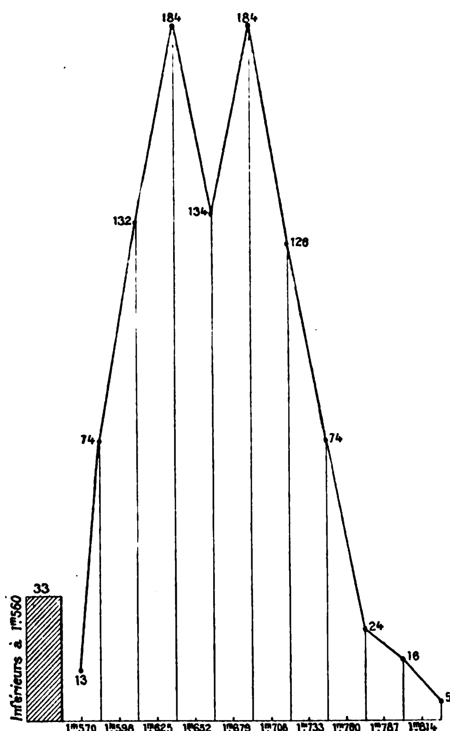
Creuse et dans celui du Doubs suffiront, sans autre commen-

Fig. 3.



Taille des conscrits dans le département de la Creuse (1858-1869).

Fig. 4.



Taille des conscrits dans le département du Doubs (1856-1869).

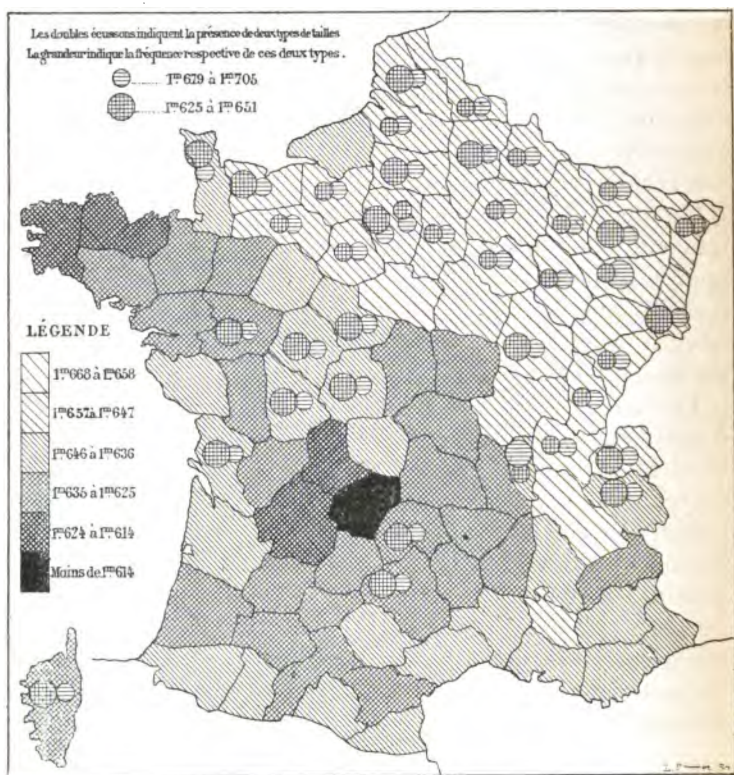
taire, à faire comprendre cette répartition des tailles en deux groupes (voir les *fig.* 3 et 4).

La taille par département. — Si d'une période à l'autre les différences sont peu accentuées pour l'ensemble de la population française, elles deviennent très sensibles d'une région

à une autre pour une même époque et elles sont persistantes (voir *fig.* 5).

La région du nord-est jouit du privilège des grandes tailles.

Fig. 5.



Taille des conscrits par départements (1858-1867), d'après M. Bertillon.

Les départements du Doubs, du Jura, de la Haute-Saône, de la Côte-d'Or, de la Haute-Marne, de l'Aube, des Ardennes, du Haut-Rhin (ainsi que les anciens départements de la Moselle et de la Meurthe), des Vosges, de l'Yonne, de l'Ain, et, d'autre part, le département du Nord se placent bien au-dessus avec une moyenne de 1m,667 à 1m,655, tandis que dans les cinq départements de la Bretagne, dans plusieurs

départements du Massif central (Puy-de-Dôme, Haute-Loire, Dordogne, Haute-Vienne, Corrèze), dans les Landes et dans quelques départements montagneux, tels que les Hautes-Alpes et la Corse, elle n'atteint pas 1m,63. Les départements de la Bretagne, du Massif central et des plaines du Centre, des Alpes méridionales et des Landes sont ceux où il y a le plus de jeunes gens exemptés pour défaut de taille [1]. Nous avons fait remarquer ailleurs la relation qui existe entre cette répartition des tailles et les origines, germanique ou celtique, de la population et qu'il n'est pas téméraire de considérer comme une relation de cause à effet.

L'uniformité ne règne pas d'ailleurs dans ces régions; on rencontre d'ordinaire, ainsi que nous venons de le montrer pour le département du Doubs, un mélange en proportions inégales de petites et de grandes tailles, dans lequel quelques ethnographes voient l'indice d'un mélange des races durant les âges primitifs [2].

La carte ci-jointe [3], quoique dressée par M. J. Bertillon d'après un procédé un peu différent de celui qui a servi au classement employé plus haut pour la courbe de la taille moyenne, présente une distribution analogue et, par conséquent, confirme cette répartition des tailles. Si l'on tire une diagonale à travers la France, du Cotentin à la Grande-Chartreuse, on divise le territoire en deux parties tranchées : au nord-est, les grandes tailles fournissant des moyennes départementales qui ne descendent pas au-dessous de 1m,647; au sud-ouest, les petites tailles, avec des moyennes départementales inférieures à 1m,647.

---

(1) Les cas d'exemption ont varié de 90 à 174 pour 1000 examinés pendant la période 1831-1860 dans ces régions, pendant que, dans tous les départements du nord-est, depuis le Cotentin jusqu'au lac Léman, ils sont restés de 57 pour 1000.

(2) Voir *Mémoire d'Anthropologie* de P. Broca, *Quelques remarques ethnologiques sur la répartition de certaines infirmités en France,* par G. Lagneau, l'article *Taille*, par Bertillon, dans le *Dict. encyc. des Sc. médicales,* la *Revue scientifique* du 17 oct. 1885, etc.

(3) M. Boudin a dressé deux cartes, une des petites tailles en 1857, une des grandes tailles en 1863. M. Broca a dressé une carte des tailles portant sur la période 1831-1860. M. Topinard l'a reproduite, avec quelques modifications dans ses *Éléments d'Anthropologie générale.*

Dans le nord-est, la Seine-Inférieure fait seule exception. Mais presque tous les départements renferment un certain groupe d'hommes de petite taille (de $1^m,625$ à $1^m,651$), lequel abaisse la moyenne générale et masque en partie l'importance du groupe principal dont la moyenne particulière atteint $1^m,679$ à $1^m,705$ [1].

Dans cette région, les départements du Bas-Rhin, des Ardennes, du Pas-de-Calais, de la Somme et de l'Oise, ceux de la Haute-Marne, de la Côte-d'Or, de la Haute-Saône, du Doubs et du Jura sont ceux où l'on constate le moins de petites tailles et que M. Broca regardait comme peuplés surtout d'hommes de race kymrique.

Les collines de Normandie, la Loire, le Morvan et les Cévennes marquent à peu près la limite des deux groupes. Cependant, dans la région du sud-ouest, c'est-à-dire des petites tailles, le département de Vaucluse fait exception et l'on rencontre çà et là des groupes d'individus de grande taille mêlés à la masse de la population qui est de taille inférieure, surtout dans le Poitou. Grâce au passage facile qu'offrait le seuil du Poitou, ces grandes tailles ont pénétré jusque sur les bords de la Gironde.

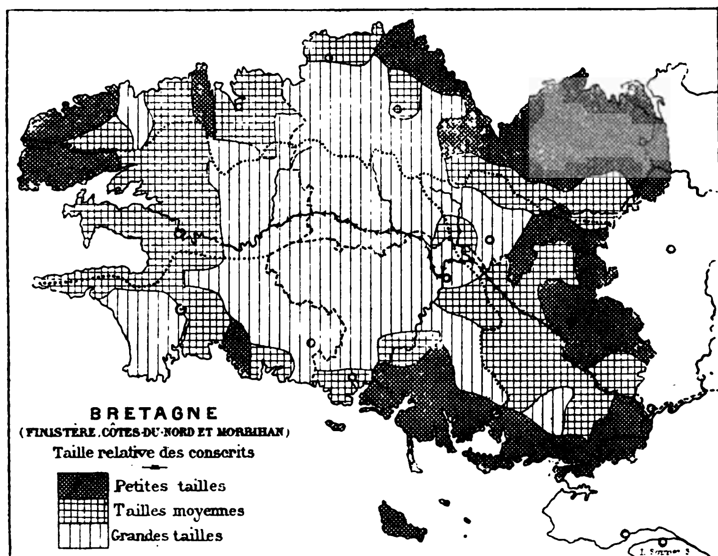
Les petites tailles dominent de beaucoup dans la Bretagne bretonnante (Côtes-du-Nord et Finistère), dans le Massif central et les régions avoisinantes (Allier, Puy-de-Dôme, Corrèze, Lot, Dordogne, Charente) et dans les Hautes-Alpes. Dans ce dernier département, on enregistrait (période 1831-1860) 113 exemptés pour défaut de taille par 1000 examinés, tandis qu'on n'en comptait que 24 dans le Doubs. Nous avons dit que l'obstacle que la configuration du sol opposait aux courants d'invasion pouvait jusqu'à un certain point expliquer cette distribution des tailles.

---

[1] Si, au lieu d'examiner la taille des conscrits reconnus aptes au service, on considère le nombre des exemptés par défaut de taille, on arrive à peu près au même résultat. Ainsi, pendant qu'en moyenne de 1831 à 1860, il y a eu, sur 1000 jeunes gens examinés, 24 à 34 exemptions de ce genre dans le Doubs, la Côte-d'Or, le Jura, la Haute-Marne, il y en a eu 124 à 174 dans la Dordogne, le Puy-de-Dôme, la Corrèze, la Haute-Vienne. (Voir *Anthropologie de la France,* par le Dr Lagneau).

La population de la Bretagne, que MM. Broca et Chassagne ont analysée par cantons, fournit un exemple curieux du mélange des types; dans la plaine et sur la plupart des côtes, il y a peu d'exemptions pour défaut de taille; il y en a beaucoup

Fig. 6.



Taille des conscrits en Bretagne.

dans la région montagneuse et pauvre du centre (*voir* la carte ci-jointe, *fig.* 6).

Faut-il voir dans ces différences un résultat lent de l'état économique des populations, vivant les unes pauvrement sur un sol pauvre et les autres dans une abondance relativement plus grande, grâce aux ressources que la mer leur procure, ou la persistance d'un type ethnique? Les anthropologistes discuteront longtemps encore un problème pour la solution duquel les données précises manquent. Pour nous, il nous paraît certain qu'une misère endurée pendant une longue suite de générations déprime l'homme et doit multiplier les avortons; mais il nous semble douteux que le bien-être élève sensible-

ment les corps au-dessus de la moyenne, et, sans rien vouloir préciser parce que les causes sont complexes, nous sommes porté à chercher non seulement dans le bien-être, mais plus encore dans l'atavisme les raisons principales des grandes et des petites tailles, lorsqu'elles caractérisent d'une manière positive un groupe nombreux.

La taille dans les pays étrangers. — Si l'anthropologie ne possède pas de données suffisantes pour déterminer avec précision la taille des Français, elle est bien plus embarrassée pour classer les peuples par rang de taille, parce que les mesures, quand elles ne font pas absolument défaut, comme dans beaucoup de pays, portent sur un petit nombre de sujets et ont été prises par des procédés dissemblables. Nous pouvons cependant dire que les Français se trouvent, sous le rapport de la taille, comme sous beaucoup d'autres aspects démographiques, dans la catégorie moyenne : c'est ce qu'on peut constater, d'après le Tableau suivant, emprunté, en grande partie, aux travaux de M. Topinard [1].

	m
Té-huelches (Patagonie) [2]	1,78

---

[1] Voir *Éléments d'Anthropologie générale*, Ch. XIV. Des mesures prises sur les soldats de l'armée des États-Unis (âgés de 25 ans en moyenne), pendant la guerre de sécession, ont donné les résultats suivants :

Originaires des États-Unis	1m,73 (a)
» de Scandinavie	1m,71
» de Grande-Bretagne	1m,70
» de France et d'Allemagne	1m,695 (b)
Nègres	1m,69

[2] D'après Alcide d'Orbigny, la taille moyenne des Patagons ne serait que de 1m,73. Cette taille n'a rien d'extraordinaire; en France, un dixième environ du contingent a une taille supérieure à 1m,72. Les tailles supérieures à 1m,78 sont plus rares; cependant sur 1000 soldats des armées de la guerre de sécession, il y en avait 5 dont la taille dépassait 1m,905 (voir *Éléments d'Anthropologie générale*, p. 438).

(*a*) Les plus grands venaient des États du centre et avaient 1m,75.

(*b*) Taille supérieure à celle des conscrits en France, parce que ces soldats avaient en moyenne 25 ans, tandis que les conscrits en ont 20 à 21 et que ce sont en général des hommes relativement forts qui s'expatrient.

	m
Scandinaves (1), Finlandais, Écossais (?)	1,71
Irlandais, Anglais (2)	1,69
Danois, Belges, Allemands, Suisses (3)	1,68
Russes (4), Roumains	1,66
Français	1,65

---

(1) La taille moyenne des conscrits en Suède (année 1875) n'était que de $1^m,685$, ce qui autorise à regarder le chiffre du Tableau comme un peu trop élevé.

(2) Il y a en Angleterre, comme dans beaucoup de pays, des tailles très diverses. M. J. Beddoe (*Stature and bulk of man in the British isles*, 1884) donne comme moyenne générale $1^m,69$ avec des groupes variant de $1^m,67$ à $1^m,70$. Il y a même de petits groupes dont la taille descend à $1^m,61$, comme en France dans les Hautes-Alpes.

(3) En Suisse, les recrues de 1878-79, classées par nationalité, ont donné, d'après les calculs de M. Kummer, les résultats suivants, qui ne concordent pas avec le Tableau :

Recrues de langue allemande	$1^m,629$
» française	$1^m,646$
» italienne	$1^m,634$
» romanche	$1^m,642$
Moyenne générale	$1^m,633$

Mais ces conscrits, âgés de 19 ans $\frac{1}{4}$, n'avaient pas atteint toute leur croissance. En Allemagne, d'ailleurs, il y a des tailles très diverses et beaucoup de types mélangés. D'une manière générale, on remarque que les grandes tailles se rencontrent principalement dans les parties où dominent les hommes aux yeux bleus et aux cheveux blonds.

(4) La taille des soldats de la Grande Russie (1974 cas) a été trouvée de $1^m,655$; mais celle des habitants des provinces orientales de la Russie paraît inférieure : 100 Votiaks ont donné une moyenne de $1^m,62$.

Voici, pour la Russie (d'après le Comité central de Statistique), le résultat moyen du recrutement pour la période 1874-83 :

Réformés pour défaut de taille	1,5	pour 100.
» » infirmités	15	»
» » faiblesse de constitution	16,3	»
» » autres raisons	2,9	»
Taille de 2 archines 2 $\frac{1}{2}$ verchocs	2,76	»
» » 3 »	12,01	»
» » 4 »	24,05	»
» » 5 »	28,52	»
» » 6 »	20,58	»
» » 7 »	9,02	»
» » 8 »	2,54	»
» 9 »	0,45	»
» » 10 »	0,06	»
» » 11 »	0,008	»
» » 12 »	0,0002	»

	m
Hindous	1,64
Chinois (?)	1,63
Italiens (1)	1,62
Lapons (2)	1,54

Les langues. — Si nous décrivions l'état de la France dans les siècles passés, nous aurions à signaler des différences très accusées de langage, quoique les dialectes n'eussent pas, en général, de limites nettement tranchées et que, même au moyen âge, la transition entre deux langues voisines se fît par une suite de nuances dégradées. Ces différences se sont beaucoup atténuées durant le cours du XIX[e] siècle, sous la triple influence du service militaire, qui a mêlé les jeunes gens des diverses provinces dans les mêmes régiments et qui leur a fait passer plusieurs années hors de leur commune natale, des moyens de communication qui ont facilité les voyages et fait affluer les ouvriers vers les villes, enfin de l'instruction primaire qui a répandu l'usage de la langue française.

Cependant six langues distinctes sont parlées encore de nos jours en France : le français, le provençal, l'italien, le breton, le basque et le flamand. (Voir *fig.* 7).

Le basque ne se parle, en France, que dans l'angle sud-ouest de la France, depuis le pic d'Anie jusqu'à l'embouchure de la Bidassoa et ne s'étend au nord que jusque vers le gave d'Oloron, le confluent de la Bidouze et de l'Adour et jusque dans le voisinage de Biarritz (3). Dans ces limites même, cette langue s'est laissé pénétrer sur divers points par l'idiome béarnais, et ceux qui parlent le basque semblent eux-mêmes, d'après la conformation des crânes, être un mélange de plusieurs races. Les Basques ne sont guère aujourd'hui au nombre de plus de 150 000 (4).

---

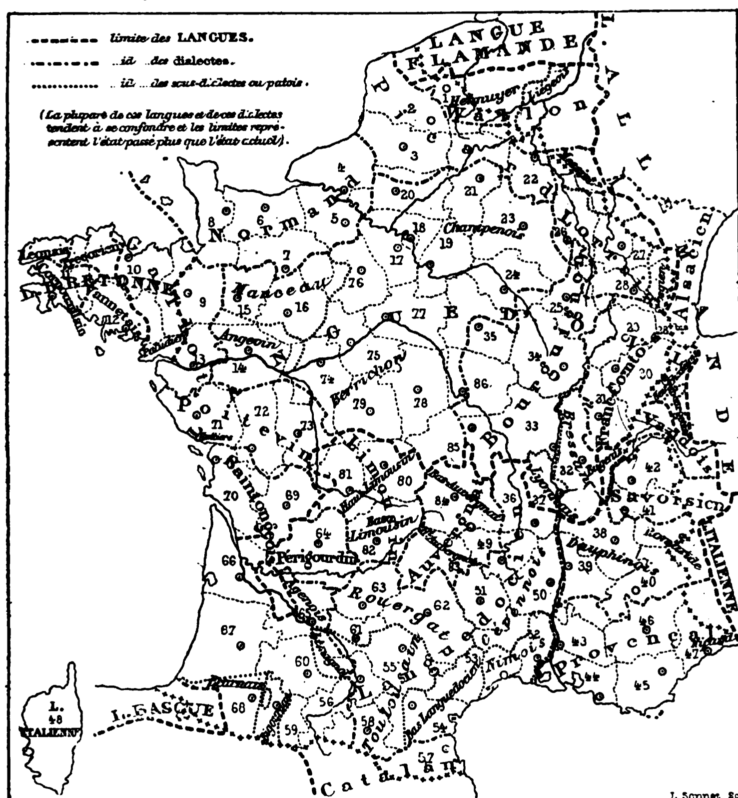
(1) C'est la taille moyenne des conscrits (période 1854-59). La moyenne atteignait 1m,65 en Vénétie, et descendait à 1m,58 en Sardaigne.

(2) Villermé attribuait seulement 1m,63 à la taille moyenne des Lapons.

(3) *Voir* la carte de la langue basque insérée dans la *Nouvelle Géographie universelle*, de M. É. Reclus, *France*, p. 86.

(4) Les deux arrondissements de Bayonne et de Mauléon, où ils forment la très grande majorité de la population, ont environ 170000 habitants.

Fig. 7. — Carte des langues et des dialectes en France.



1. Nord.
2. Pas-de-Calais.
3. Somme.
4. Seine-Inférieure.
5. Eure.
6. Calvados.
7. Orne.
8. Manche.
9. Ille-et-Vilaine.
10. Côtes-du-Nord.
11. Finistère.
12. Morbihan.
13. Loire-Inférieure.
14. Maine-et-Loire.
15. Mayenne.
16. Sarthe.
17. Seine-et-Oise.
18. Seine.
19. Seine-et-Marne.
20. Oise.
21. Aisne.
22. Ardennes.
23. Marne.
24. Haute-Marne.
25. Aube.
26. Meuse.
27. Meurthe.
28. Vosges.
28 *bis*. Arrond. de Belfort.
29. Haute-Saône.
30. Doubs.
31. Jura.
32. Saône.
33. Saône-et-Loire.
34. Côte-d'Or.
35. Yonne.
36. Loire.
37. Rhône.
38. Isère.
39. Drôme.
40. Hautes-Alpes.
41. Savoie.
42. Haute-Savoie.
43. Vaucluse.
44. Bouches-du-Rhône.
45. Var.
46. Basses-Alpes.
47. Alpes-Maritimes.
48. Corse.
49. Haute-Loire.
50. Ardèche.
51. Lozère.
52. Gard.
53. Hérault.
54. Aude.
55. Tarn.
56. Haute-Garonne.
57. Pyrénées-Orient.
58. Ariège.
59. Hautes-Pyrénées.
60. Gers.
61. Tarn-et-Garonne.
62. Aveyron.
63. Lot.
64. Dordogne
65. Lot-et-Garonne.
66. Gironde.
67. Landes.
68. Basses-Pyrénées.
69. Charente.
70. Charente-Inférieure
71. Vendée.
72. Deux-Sèvres.
73. Vienne.
74. Indre-et-Loire.
75. Loir-et-Cher.
76. Eure-et-Loir.
77. Loiret.
78. Cher.
79. Indre.
80. Creuse.
81. Haute-Vienne.
82. Corrèze.
83. Cantal.
84. Puy-de-Dôme.
85. Allier.
86. Nièvre.

La langue bretonne a reculé aussi. Elle régnait autrefois sur toute la presqu'île et s'étendait vers l'est jusqu'à la Rance et à l'embouchure de la Loire. Elle est refoulée aujourd'hui à l'ouest de l'estuaire de la Vilaine et de la baie de Saint-Brieuc, dans la partie occidentale de la Bretagne où les quatre dialectes, le vannetais, le trécorais, le cornouaillais et le léonais, sont encore l'idiome dominant, parlé concurremment avec le français que l'école fait pénétrer de plus en plus dans les habitudes. On peut évaluer à 1 350 000 âmes la population qui se sert de cet idiome ([1]). (*Voir* la carte ci-jointe, *fig.* 7).

Le basque et le breton sont des langues d'un caractère tout à fait spécial, parlées sur notre territoire depuis les temps préhistoriques. Le provençal et le français sont plus récents : ils ont leur première origine, l'un dans la conquête romaine, l'autre dans la conquête franque et ils appartiennent à la famille des langues latines.

Le provençal, le dauphinois, le savoisien, le languedocien, le catalan, le béarnais, le gascon, le périgourdin, le limousin, l'auvergnat sont les principaux dialectes des langues provençales que parlent peut-être en France plus de 12 millions $\frac{1}{2}$ d'individus ([2]).

Les langues provençales ont reculé, comme les autres, devant la poussée du français apporté par les gens du nord et propagé par l'enseignement. La limite, impossible à déterminer avec précision, se trouve dans une zone intermédiaire où sont enchevêtrées des populations de langue française, provençale et mixte. Du côté de l'ouest, cette limite se trouve un peu au nord

---

([1]) En additionnant la population du Finistère, celle du Morbihan moins l'arrondissement de Ploërmel et celle des arrondissements de Lannion et Guingamp avec une portion de celui de Saint-Brieuc dans les Côtes-du-Nord, on trouve un total de plus de 1 360 000; mais toute la population des villes n'est pas de race bretonne.

([2]) En comptant comme appartenant à cette langue tous les habitants des départements situés au sud de la limite, à l'exception du pays basque : ce qui donne un nombre certainement trop fort, parce que tous les habitants des villes ne sont pas de langue provençale.

de la Gironde et du confluent de la Garonne et de la Dordogne; il existe même au sud de cette rivière une colonie de la langue d'oil (gavache); elle passe par les départements de la Haute-Vienne, de la Creuse, de la Loire, descend le Rhône jusqu'à Lyon, traverse l'Ain et la Savoie jusqu'aux Alpes qu'elle franchit même pour enfermer dans la partie française quelques vallées du Piémont ([1]). Elle enveloppe ainsi la partie septentrionale du Massif central où le vieux langage a mieux résisté, ainsi que la vieille race, à l'invasion armée ou pacifique des populations d'outre Loire.

Les Corses, qui ne sont français que depuis 1768 et qui sont au nombre d'environ 272 000, parlent l'italien.

Si l'on compare les pays de langues basque, bretonne et provençale avec les départements de petite taille (moins de $1^m,635$ sur la carte), on est frappé d'une certaine similitude de groupement et porté à conclure que la stature et le langage sont des indices — trompeurs sans doute parfois, mais utiles à consulter — de la race.

Le français, qu'on désignait sous le nom de langue d'oil, se divisait autrefois en dialectes très distincts : le franc-comtois, le bourguignon, le lorrain à l'est, le picard et le wallon au nord, le normand, le gallot (dans la Haute-Bretagne), le poitevin à l'ouest. L'instruction a peu à peu nivelé les différences, démodé les dialectes du français et substitue peu à peu, lentement, le français aux autres langues; les populations de la France septentrionale et centrale, dont le français est la langue maternelle et qui sont au nombre de près de 22 millions ([2]),

---

([1]) Voir *La langue romane du midi de la France,* 1889, brochure par M. Meyer.

([2]) Le nombre des individus de chaque langue en France pouvait être hypothétiquement évalué en 1881 à :

Langue basque	150 000
Langues provençales (ou langue d'oc)	12 700 000
Langue italienne	272 000
Langue bretonne	1 350 000
Langue française (ou langue d'oil)	22 790 000
Langue flamande	230 000
	37 672 000

se distinguent maintenant plutôt par certains accents de terroir que par des vocabulaires particuliers. Cependant, dans les campagnes, il subsiste des restes des anciens dialectes qui sont parlés concurremment avec la langue commune.

A l'extrémité nord-ouest du département du Nord, entre Armentières et la mer, le flamand est la langue maternelle de la population, qui se compose d'environ 230000 individus environ [1]. C'est pourquoi on désignait cette contrée sous le nom de Flandre flamingante. Depuis la perte de l'Alsace et de la Lorraine septentrionale, elle est la seule région de France dont les habitants fassent usage d'un idiome germanique.

Les villes qui sont peuplées en partie par l'immigration et dont les habitants ont en général un peu plus d'instruction que les paysans, lisent davantage les journaux et ont en quelque sorte plus de contact avec le monde, font exception dans toutes ces régions; si on y parle encore par goût le dialecte du pays, du moins on y entend presque partout le français.

Les races. — Le dénombrement ne fait pas connaître la langue parlée par les habitants. On a parfois reproché cette lacune à l'administration française en lui opposant l'exemple de l'Autriche, qui fait cette distinction.

Ce reproche n'est pas fondé; pour demander ce renseignement, il faut qu'il ait un intérêt administratif, et pour pouvoir accorder au résultat quelque crédit, il faut que les distinctions soient nettement tranchées. Or, en France, on ne recueillerait sur beaucoup de points que des données vagues et trompeuses, le français étant la seule langue officielle et étant parlé par la très grande majorité de ceux qui emploient concurremment un autre idiome.

La taille et la langue sont des indices de la race, mais elles n'en sont pas des preuves irrécusables; car la taille se modifie par les unions mixtes et par les conditions sociales dans

---

[1] Population des arrondissements d'Hazebrouck et de Dunkerque.

lesquelles vivent les familles, et la langue se transmet par l'éducation d'une race à une autre, comme en témoignent les Français eux-mêmes, qu'ils soient de langue d'oil ou de langue d'oc, qui ont adopté un idiome importé par les Romains.

On peut d'ailleurs se demander ce qui constitue, nous ne dirons pas une race, mais un type. Sont-ce des caractères physiques ou même des aptitudes morales se transmettant par le sang et demeurant presque toujours reconnaissables à travers les âges malgré les migrations, ou est-ce un ensemble de conditions sociales qui se forme peu à peu avec les siècles par le séjour permanent des habitants dans une même contrée, sous le même climat, avec les mêmes habitudes d'existence et qui donne à tous les membres du groupe un certain air de famille?

Nous pensons que la race procède de l'atavisme, mais que, par la transplantation et la culture, — qu'on nous pardonne cette expression, — les caractères peuvent se modifier au point de devenir méconnaissables et que cette culture peut finir par constituer réellement un type nouveau, quoique composé d'éléments hétérogènes au début. Nous ne voulons pas d'ailleurs insister sur des hypothèses : notre sujet ne nous y autorise pas. Mais nous dirons volontiers, avec Élie de Beaumont, que si l'on ne parle ni ne pense pas dans le Limousin comme dans l'Ile-de-France, sur les plateaux granitiques comme dans les plaines tertiaires, c'est que, depuis les commencements de l'histoire, les paysans y ont des procédés agricoles, des aliments, des besoins, un commerce, des intérêts différents; que, par conséquent, il n'est pas étonnant que leur allure, leur costume, leur aspect physique aient aussi été différents. Aujourd'hui, bien que la facilité des voyages, atténuant peu à peu ces nuances, ait déjà fait disparaître en grande partie les anciens costumes provinciaux, on distingue souvent aux traits du visage, sur lesquels la mode n'exerce pas son autorité comme sur les habits, un Normand d'un Provençal, un Breton d'un Flamand. Il est vrai qu'on s'y trompe; néanmoins, il existe des types, et il est vraisemblable que les plus caractérisés persisteront longtemps encore.

Sous ces types y a-t-il des races vraiment distinctes? La statistique et l'anthropologie n'en fournissent pas, à notre avis,

de preuves qui soient tout à fait convaincantes. Cependant la science possède une somme d'observations diverses, suffisante pour nous induire à répéter, comme nous l'avons dit en traitant des origines [1], que les populations du nord et celles du midi descendent probablement de races différentes ou du moins sont formées du mélange, à doses diverses, de plusieurs races, et que les types des Auvergnats et des Bas-Bretons, d'une part, des Basques, d'autre part, sont au nombre de ceux que ces mélanges ont le moins altérés depuis les temps historiques.

Au-dessus de la variété primordiale qui paraît réelle, il existe dans toutes ces populations une certaine unité morale qui n'est pas moins réelle et qui a beaucoup plus d'importance sous le rapport social. C'est elle qui fait le lien de la nationalité française. Elle s'est formée peu à peu dans la suite des siècles par le frottement des provinces les unes à côté des autres entre les mains de la royauté; elle réside dans l'usage de la même langue, dans la communauté des institutions civiles et politiques, dans la longue tradition des souvenirs historiques et dans le sentiment de la solidarité nationale.

---

(1) Le Chapitre I du Livre I de la *Population française* a pour titre : *Les populations primitives de la Gaule.*



EXPÉRIENCES

SUR LES COUPS DE FEU

DES CHAUDIÈRES A VAPEUR

Par M. J. HIRSCH.

OBJET ET DIVISION.

Définition des coups de feu. — On dit qu'une chaudière a reçu un *coup de feu* lorsque la tôle constituant la paroi de la chaudière a été portée au rouge sur une étendue plus ou moins grande. Le coup de feu est caractérisé par divers indices, notamment par une teinte bleuâtre que prend la tôle sur sa face exposée à la chaleur, teinte due à la formation d'une couche d'oxyde.

Le coup de feu a d'ordinaire pour conséquence une altération de la qualité du métal, une désorganisation des clouures voisines. Dans beaucoup d'explosions, on a constaté, sur la chaudière détruite, des coups de feu récents ou anciens. Tout générateur qui a reçu un coup de feu doit être considéré comme suspect et soumis à des visites et épreuves sérieuses.

On connaît assez bien, à la suite d'accidents nombreux, les dangers que présentent les coups de feu une fois produits. Mais on est beaucoup moins bien fixé sur les conditions qui peuvent en amener la production. Lorsque la chaudière a manqué d'eau, le coup de feu s'explique de lui-même. Mais il arrive assez souvent que l'on constate des coups de feu sur des chaudières qui ont été maintenues constamment pleines.

En pareil cas, l'explication devient plus douteuse. Quelques-uns pensent qu'un jet de flamme violent, dirigé sur un point de la paroi, suffit à lui seul pour porter la tôle au rouge; d'autres soutiennent qu'une paroi ne peut être atteinte d'un coup de feu, quelle que soit la violence de la flamme, du moment qu'elle est refroidie sur sa face intérieure par le contact de l'eau contenue dans la chaudière. Il existe enfin des opinions intermédiaires : un feu violent ne suffirait pas pour produire le coup de feu, si la tôle est bien mouillée intérieurement, et si le métal est bien homogène et bien continu; mais tout obstacle à la transmission rapide de la chaleur pourrait avoir pour effet d'élever outre mesure la température de la face en contact avec les flammes; parmi ces obstacles, on signale les incrustations, les graisses contenues dans l'eau ou répandues sur la paroi, les pailles, les doublures de tôle le long des coutures, etc.

C'est dans le but de jeter quelque jour sur ces questions qu'ont été entreprises les expériences qui seront décrites ci-après. On n'a pas d'ailleurs essayé, dans ces recherches, d'obtenir des mesures rigoureuses, mais simplement des aperçus exacts sur l'ordre de grandeur des phénomènes étudiés.

Transmission de la chaleur dans les chaudières. — Les causes qui amènent la production des coups de feu ne diffèrent que par leur intensité de celles qui agissent dans la transmission ordinaire de la chaleur à travers une paroi; il convient de rappeler les principes qui président à cette transmission.

La paroi d'une chaudière est baignée, à l'intérieur, par l'eau contenue dans le générateur; à l'extérieur, elle reçoit de la chaleur par rayonnement et par contact. Avant de s'incorporer à l'eau, cette chaleur doit franchir trois obstacles :

1° Il faut qu'elle pénètre dans le métal par la face extérieure de la paroi, mettant ainsi en jeu ce qu'on appelle la *conductibilité extérieure* de cette paroi;

2° Il faut qu'elle traverse l'épaisseur entière de la lame de tôle, en vertu de la *conductibilité intérieure* du métal;

3° Enfin, arrivée à la face intérieure, la chaleur doit franchir cette face pour se communiquer à l'eau, et c'est ici qu'inter-

vient de nouveau la *conductibilité extérieure*, s'exerçant cette fois du métal à l'eau.

Conductibilité intérieure. — Cette distinction entre la conductibilité intérieure et les conductibilités extérieures est d'une grande importance ; elle a été mise en relief par Péclet, à la suite d'expériences nombreuses et décisives. Jusqu'alors on s'était surtout attaché à l'étude de la conductibilité intérieure. D'après les recherches précédentes faites sur ce sujet, et dont les principaux résultats ont été d'ailleurs confirmés par Péclet, la conductibilité intérieure d'un métal homogène est à peu près constante ; autrement dit, une fois le régime permanent établi, entre les deux faces d'une paroi métallique, la température varie avec la distance suivant une progression arithmétique, et la quantité de chaleur qui traverse la paroi est proportionnelle à la différence entre les températures que prend le métal en deux points situés à des distances infiniment petites des deux faces.

Conductibilité extérieure. — Quant à la conductibilité *extérieure*, c'est-à-dire la propriété en vertu de laquelle se produisent les échanges de chaleur entre le métal et les fluides qui baignent ses faces, les lois qui président à ces échanges sont encore bien imparfaitement connues. On sait que, toutes choses égales, la communication de la chaleur augmente d'activité quand s'accroît l'écart entre la température du métal et celle du fluide qui le baigne ; on sait également que ces échanges de chaleur peuvent être influencés par des circonstances fort diverses, telles que l'état et la disposition des sulfaces, les mouvements des fluides, etc.

Température de la tôle. — Enfin il est un fait bien certain, et qui a une importance capitale au point de vue du fonctionnement des chaudières à vapeur, c'est que la communication de chaleur est considérablement plus active lorsque le fluide est un liquide que lorsque ce fluide est gazeux. Il en résulte que, dans le métal formant la paroi de la chaudière, la température de la face en contact avec l'eau n'est pas de beaucoup

supérieure à celle de l'eau elle-même, tandis que la face opposée est en général à une température beaucoup plus basse que celle des gaz qui la baignent.

Ce fait important est démontré par tout ce qui se passe dans les chaudières à vapeur; et, en effet, si la température du métal s'élevait notablement au-dessus de celle de l'eau, laquelle atteint 160° à 180° dans les cas ordinaires, il est certain que la tôle perdrait presque toute sa résistance, et que les accidents seraient très fréquents. Que si le plan d'eau vient à baisser, de manière à découvrir une portion de la paroi chauffée, le refroidissement énergique résultant du contact de l'eau liquide cesse d'agir; c'est de la vapeur qui est en contact avec la tôle, et un coup de feu est imminent.

Ainsi, des trois obstacles au passage de la chaleur que nous avons définis plus haut, le premier obstacle, celui que la chaleur rencontre à son entrée dans la tôle, est certainement et de beaucoup le plus important; le passage de la chaleur dans l'eau est bien plus facile; quant au passage de la chaleur à travers la masse même du métal, il semble que, dans les cas ordinaires, il s'opère assez facilement, de telle sorte que de faibles écarts dans les températures intérieures suffisent pour assurer le débit de quantités de chaleur fort importantes.

Division des recherches. — Toutefois l'importance relative de ces trois obstacles peut varier dans des limites fort étendues, et dépend de bien des circonstances. Par exemple, il est certain que la communication de la chaleur entre le métal et l'eau va se trouver fort gênée, s'il existe sur la paroi des incrustations épaisses. Il en est de même si l'eau qui recouvre le métal n'est pas en contact immédiat avec lui; et il semble résulter d'observations déjà anciennes, que certains corps gras déposés, sous forme d'enduit, sur la surface de la tôle, suffisent pour empêcher celle-ci d'être mouillée par l'eau.

Enfin la transmission à travers la masse du métal peut être entravée par des pailles ou bien des épaisseurs multiples, comme il s'en rencontre au droit des rivures.

Ces notions ont besoin d'être précisées, et tel est l'objet principal des expériences qui vont être décrites.

Mais, avant d'aborder ces études, il a paru utile de se rendre maître d'une donnée qui, jusqu'ici, fait à peu près complètement défaut, à savoir : quelle peut être l'intensité du flux de chaleur qui traverse la paroi d'une chaudière, dans les parties les plus violemment chauffées ?

En conséquence de ce qui précède, nous avons divisé la présente étude en trois Parties :

1° Recherches sur la vaporisation dans les chaudières au droit du coup de feu ;

2° Expériences sur la transmission de la chaleur à travers le métal et du métal à l'eau ;

3° Étude spéciale de l'influence des enduits gras.

Nous terminerons par un résumé et des conclusions.

PREMIÈRE PARTIE.

Recherches sur la vaporisation dans les chaudières au droit du coup de feu.

De la vaporisation dans les chaudières. — Dans les calculs relatifs à la production des générateurs, il est d'usage de ramener la vaporisation au mètre carré de surface de chauffe. Une chaudière fixe ordinaire, travaillant dans de bonnes conditions économiques, ne donne pas, par mètre carré de surface de chauffe et par heure, plus de 15^{kg} à 18^{kg} de vapeur ; il est rare qu'on dépasse 25^{kg} ; dans les locomotives, on atteint 40^{kg} à 45^{kg} lors du travail à toute puissance.

Mais ces chiffres ne sont que des moyennes, que l'on obtient en divisant la vaporisation totale par l'aire totale de la paroi exposée à l'action de la chaleur. Ils ne sauraient donner aucune idée de ce que peut être l'intensité de la vaporisation en tel ou tel point de la paroi. Or, on sait que cette vaporisation est très loin d'être uniforme. Au droit du foyer, dans la partie où la chaleur est la plus vive, la vaporisation est extrêmement active ; elle diminue de plus en plus,

en même temps que la température des gaz provenant de la combustion, au fur et à mesure que l'on considère des parties plus éloignées du foyer; si la surface de chauffe est un peu étendue, les derniers mètres carrés ne donnent que des quantités de vapeur peu importantes.

Expériences de M. Geoffroy. — Il serait très intéressant de posséder des notions exactes sur les quantités de chaleur qui traversent en chaque point la paroi d'une chaudière en service. Malheureusement, on en est réduit sur ce point à des hypothèses.

Les seules expériences, à notre connaissance, ayant trait à ce sujet, sont celles qui ont été exécutées, il y a longtemps déjà, par M. Geoffroy, sur une chaudière locomotive du chemin de fer du Nord ([1]).

Cette chaudière avait été divisée, au moyen de cloisons transversales au faisceau tubulaire, en cinq compartiments étanches; ces cloisons étaient traversées par les tubes calorifères, de telle sorte que la combustion et la transmission de la chaleur se fissent à peu près dans les conditions normales du service. Des dispositions spéciales permettaient de mesurer les quantités d'eau introduites dans chaque compartiment, pour remplacer l'eau transformée en vapeur.

Ces intéressantes expériences ont confirmé de la manière la plus nette la théorie rappelée plus haut, à savoir : la décroissance rapide de la vaporisation à partir du foyer jusqu'à la cheminée; les derniers compartiments ne donnaient que des quantités de vapeur très faibles, principalement dans les cas où la combustion était modérée.

Au point de vue spécial qui nous occupe, il importe surtout d'examiner les résultats obtenus dans le premier compartiment, lequel était constitué par le foyer et une faible longueur de tubes; c'est dans ce compartiment que la vaporisation était naturellement la plus active.

La surface de chauffe de ce compartiment était de $7^{mq},14$. Sous l'action du tirage le plus actif, la vaporisation, ramenée

([1]) COUCHE, *Voie et matériel roulant*, T. III, p. 33. Paris, Dunod; 1876.

à l'heure et au mètre carré, ne dépassa dans aucun cas 218kg. Ce chiffre devrait d'ailleurs être réduit dans une notable mesure, si l'on tenait compte de l'eau entraînée, laquelle était mélangée à la vapeur dans une proportion considérable, mais qui n'a pas été mesurée.

Définition de l'intensité du feu. — Une chaudière étant établie en vue d'une allure déterminée, il arrive assez fréquemment que, par suite de circonstances diverses, on est amené à lui demander une production exagérée, c'est-à-dire à forcer l'intensité du feu; il en résulte souvent des accidents graves, des effets de coups de feu. Les ingénieurs des associations de propriétaires d'appareils à vapeur ne cessent d'appeler l'attention des intéressés sur les dangers de ces allures à outrance; les chaudières qui ont subi ces sortes d'accidents sont classées par eux dans une catégorie spéciale, celle des *chaudières forcées*.

On a cherché à soumettre à une définition ces exagérations de chauffage. Les uns proposent de prendre comme base la production de vapeur par mètre carré de surface de chauffe : une chaudière ayant été établie pour vaporiser tant de kilogrammes par heure et par mètre carré, la vaporisation ne saurait dépasser ce chiffre sans que la chaudière courre le risque d'être forcée. La définition peut être admise tant qu'il ne s'agit que d'une chaudière unique et déterminée; il en serait de même si l'on prenait pour base de comparaison, non plus la production au mètre carré, mais la production totale du générateur. Toutefois il est facile de voir que cette définition est loin d'être générale : le chiffre limite, acceptable pour une chaudière, cesse de l'être pour toute autre. Et en effet, au point de vue des coups de feu à redouter, c'est seulement la partie de la surface de chauffe voisine du foyer qui est à considérer. Soit donnée, par exemple, une chaudière travaillant à une allure exagérée; si, sans rien changer au foyer ni au tirage, on vient à allonger la chaudière, en doublant ou triplant la surface de chauffe, le danger ne sera pas moindre, et cependant la vaporisation par mètre carré aura été réduite dans une forte proportion.

On a proposé également de prendre pour mesure la consommation de houille par heure et par mètre carré de surface de grille. Cette base de calcul semble plus satisfaisante; elle convient pour toutes les chaudières dont le foyer et les parties voisines présentent des proportions analogues. Mais elle n'a plus aucune valeur pour comparer les allures des chaudières de types différents.

Cette question reste ouverte et n'a pas encore reçu de solution bien nette.

Principe des expériences. — C'est dans la partie de la paroi qui est au-dessus de l'autel que les coups de feu sont, en général, le plus à redouter. Cette partie reçoit la radiation de toute la surface de la grille, et de la maçonnerie de l'autel et des parois du foyer portées au rouge; de plus, le courant de flamme, étranglé dans un passage étroit, y acquiert une grande violence.

Les expériences qui vont être décrites ont eu pour objet de mesurer les quantités de chaleur qui, dans une chaudière en service, traversent la paroi au droit de l'autel.

A cet effet, on a choisi une chaudière convenablement appropriée à ces sortes d'expériences; dans la région du coup de feu, immédiatement au-dessus de l'autel, on a isolé une portion de la paroi présentant une aire d'environ un décimètre carré, et l'on a mesuré la quantité de vapeur dégagée, dans un temps donné, par cette aire ainsi limitée.

Pour réaliser l'isolement on a installé, sur le périmètre de l'aire considérée, un cylindre vertical, assemblé à joint étanche sur le fond de la chaudière, s'élevant au-dessus du plan d'eau et s'ouvrant par le haut dans le réservoir de vapeur. L'eau contenue dans ce cylindre étant soumise à la pression qui existe dans la chaudière, la même température régnait en dehors et en dedans du cylindre; le liquide contenu dans le cylindre peut donc être considéré, au point de vue calorifique, comme isolé du fluide ambiant; cette eau ne reçoit donc de chaleur que par la base du cylindre, c'est-à-dire par la portion isolée de la paroi de la chaudière.

Passons à la description des appareils.

Chaudière expérimentée. — Les expériences ont été faites sur une des chaudières du Conservatoire des Arts et Métiers (*Pl. I, fig.* 1 à 7). Cette chaudière est du type cylindrique, avec quatre réchauffeurs latéraux, du système Farcot.

Les dimensions principales sont les suivantes :

Corps cylindrique.

Longueur	$3^m,00$
Diamètre	$0^m,65$
Volume	$1^{mc},006$
Timbre	5^{kg}
Surface de chauffe	$3^{mq},30$

Réchauffeurs.

Nombre	4
Longueur	$2^m,50$
Diamètre	$0^m,30$
Volume	$0^{mc},707$
Surface de chauffe	$10^{mq},04.$
Volume total (Corps principal et réchauffeurs)	$1^{mc},713$
Surface de chauffe totale (Corps principal et réchauffeurs)	$13^{mq},34$

Grille.

Longueur	$0^m,60$
Largeur	$0^m,60$
Surface	$0^{mq},36$
Distance au corps cylindrique	$0^m,27$
Distance du dessus de l'autel au corps cylindrique	$0^m,13.$

Cheminée.

Hauteur	27^m
Section à la base	1^{mq}
» au sommet	$0^{mq},09.$

Les flammes, après avoir parcouru le corps cylindrique

dans toute sa longueur, sont conduites, par une série de carneaux superposés, le long des réchauffeurs latéraux, qu'elles parcourent successivement du haut jusqu'en bas, avant de se rendre au rampant débouchant dans la cheminée.

La chaudière est garnie des divers accessoires réglementaires : manomètre, soupapes de sûreté, flotteur, tube de niveau, robinet de prise, etc. Elle est alimentée par une petite pompe à vapeur, qui puise dans une bâche en tôle jaugée et munie d'un tube de verre indiquant le niveau sur une échelle divisée. La vapeur produite par la chaudière peut être envoyée dans différents appareils, et, notamment, dans deux machines motrices actionnant la transmission générale de la salle.

Le tirage est réglé par un registre disposé au débouché des carneaux dans le rampant.

La hauteur de la cheminée est déjà grande (27^m) et sa section au sommet est largement suffisante (le $\frac{1}{4}$ de la section de la grille); aussi, lorsque le registre est entièrement levé, le tirage est fort actif.

Souffleur. — Néanmoins, dans le but de pouvoir atteindre et même dépasser les tirages les plus intenses pratiqués dans les foyers des chaudières ordinaires, on a disposé un souffleur (*fig.* 2 et 4) lançant un jet rapide de vapeur dans l'axe du rampant. Le souffleur est constitué par une buse conique de $0^m,02$ de diamètre à la petite base; il emprunte la vapeur à la chaudière au moyen d'un tube de $0^m,04$ de diamètre. Quand ce souffleur fonctionne, le tirage devient très violent.

Cylindre isolateur. — Le cylindre ayant pour objet d'isoler une partie de la paroi est disposé (*fig.* 1, 3, 6 et 7) au-dessus de la face antérieure de l'autel. Il est en cuivre rouge, son diamètre intérieur est de $0^m,102$.

Le contact avec la paroi devait être absolument étanche; après de nombreux essais, on s'est arrêté au dispositif indiqué par la *fig.* 7. Le bas du tube a été relevé en forme de collerette, et on y a brasé une bague de laiton cintrée, qui s'applique exactement sur la paroi de la chaudière; cette bague est tenue par huit vis pénétrant dans la tôle; le joint est fait par

une mince corde d'amiante caoutchoutée, serrée dans une gorge pratiquée sous la face inférieure de la bague. Le cylindre est surmonté d'un chapeau, tenu à une faible distance au-dessus de ses bords supérieurs et muni en dessous d'un rebord saillant, de manière à retenir les gouttelettes liquides et à ne laisser sortir que de la vapeur sèche par l'orifice annulaire.

Une tubulure latérale met l'intérieur du cylindre en communication avec le tube de niveau de la chaudière, par une tuyauterie qui sera décrite plus bas.

Dans les calculs, on a admis que la surface de chauffe qui communique la chaleur à l'eau contenue dans ce cylindre est délimitée par la ligne moyenne tracée à égale distance des lèvres de la gorge dans laquelle est serrée la cordelette d'amiante. Cette ligne, rapportée sur la paroi intérieure de la chaudière, présente à très peu près, après développement sur un plan, la forme d'une ellipse, dont les axes ont $123^{mm},5$ et $127^{mm},5$; l'aire a été calculée en conséquence.

On obtient ainsi :

Surface de la section plane du cylindre isolateur..	$81^{cq},7$
Surface de chauffe du cylindre isolateur.........	$123^{cq},9$

Remarques sur cette installation. — La chaudière que nous venons de décrire semble disposée à souhait pour des expériences sur les coups de feu : la grille est vaste en comparaison de la surface de chauffe, et fort rapprochée de la tôle; la cheminée est haute et large; l'autel, fort élevé, ne laisse aux flammes qu'un passage de $0^{m},13$ de hauteur. Dans le service qu'elle fait ordinairement, cette chaudière sert, de concert avec une autre de même puissance et de même type, à alimenter une force motrice peu considérable. Ces chaudières sont toujours conduites à feu bas. Néanmoins la chaudière jumelle de celle qui a servi aux présentes études porte les traces d'un coup de feu; et avec les feux, parfois très violents, auxquels elle a été soumise dans le cours de nos expériences, nul doute que le générateur n'eût subi de graves avaries, si l'on n'avait eu la précaution de le tenir constamment en état de propreté parfaite.

Jaugeage de l'eau évaporée. — L'eau évaporée dans le cylindre isolateur était jaugée au moyen du tube de niveau d'eau, mis en communication, par une robinetterie spéciale, avec l'intérieur du cylindre.

Légende. — La légende ci-après, qui se rapporte aux *fig.* 1 à 8 (*Pl. I*), donne le détail des dispositions de la chaudière et des appareils d'expérience.

Chaudière et fourneau.

A, corps cylindrique.
BBBB, réchauffeurs d'eau d'alimentation.
C, grille.
D, autel.
FF, carneaux.
G, registre.
aaaa, commande du registre.
H, rampant.
JJ, cheminée.
K, souffleur.

Accessoires de la chaudière.

LL, soupapes de sûreté.
M, manomètre.
N, tube de niveau, accompagné d'une échelle soigneusement graduée.
O, flotteur.
bbb, chaîne, contre-poids et poulie du flotteur.
P, bâche jaugée.
ccc, tube de niveau de la bâche.
RRR, robinets de prise de vapeur.
SSS, trous d'homme.

Cylindre isolateur.

T, cylindre isolateur.
dd, bague en laiton tenue par huit vis.
ee, cordelette d'amiante.
f, raccord.
g, chapeau.
h, supports du chapeau.
i, rebord saillant retenant les gouttelettes d'eau entraînée.

Tuyauterie et robinetterie.

kk, robinet et conduite alimentant le souffleur.

ll, conduite de prise de vapeur allant aux diverses machines.

mm, conduite alimentaire.

nnn, jeu de conduites et de robinets permettant, à volonté, d'établir ou d'interrompre les communications ci-après :

1° Communication entre la chaudière et le tube isolateur pour le remplissage de ce dernier.

2° Communication entre la chaudière et le tube de niveau.

3° Communication entre le tube de niveau et le cylindre isolateur, pour observer la baisse du plan d'eau dans ce dernier.

Conduite des expériences. — Avant de commencer une expérience, on avait soin de chauffer la chaudière pendant plusieurs heures, afin d'amener le massif du fourneau à l'équilibre normal de température. La vapeur dégagée pendant ce chauffage préalable, de même que pendant le cours de l'expérience, était envoyée aux diverses machines motrices de la salle.

Le combustible employé était de la bonne houille demi-grasse pour vapeur, provenant des houillères du Nord.

La chaudière et le tube isolateur étant remplis jusqu'au haut du tube de niveau, la pression amenée à sa valeur normale, le feu à l'allure régulière qu'on voulait expérimenter, la grille bien décrassée, on notait l'ouverture du registre et celle du souffleur. Puis on fermait la communication entre la chaudière et le cylindre isolateur, lequel n'était plus dès lors en relation qu'avec le tube de niveau, et l'expérience proprement dite commençait.

A l'aide d'un compteur à secondes on suivait, sur l'échelle du tube de niveau, l'abaissement progressif du plan d'eau dans le cylindre isolateur, et l'on notait les temps correspondant au passage de ce plan d'eau devant les différents degrés de l'échelle. Pendant toute l'expérience, la pression était maintenue, à $\frac{1}{10}$ de kilogramme près, à 4^{kg}, effectifs, par une manœuvre convenable de robinets de prise de vapeur; l'activitédu feu était tenue aussi constante que possible par des changements fréquents, immédiatement suivis de la fermeture

de la porte du foyer. L'expérience était recommencée plusieurs fois, en soutenant, autant que possible, la même allure pendant quelques heures, ce qui permettait de déterminer la vaporisation totale de la chaudière à cette allure, au moyen des indications de la bâche jaugée, et la consommation de combustible, à l'aide des procédés usités en pareil cas.

La direction et l'intensité du vent, et peut-être d'autres circonstances mal définies, exerçaient une certaine influence sur le tirage, dont l'intensité à éprouvé parfois, dans une même journée, des variations notables, quoique l'ouverture du registre restât constante.

On s'assurait fréquemment, en abandonnant sous pression la chaudière à elle-même, qu'elle ne perdait pas, et que tous les joints, notamment celui du cylindre isolateur avec la paroi, étaient bien étanches. Si le résultat n'était pas satisfaisant, on rejetait toutes les expériences faites depuis la dernière épreuve, et l'on refaisait les joints qui avaient donné lieu à des fuites.

Calcul des expériences. — Le Tableau ci-après (p. 67) résume les résultats de ces expériences. Voici comment les chiffres inscrits dans ce Tableau ont été établis.

L'ouverture du registre (col. 3) était mesurée directement à partir de la position de fermeture.

L'ouverture du robinet du souffleur (col. 4) était relevée sur une échelle attachée près de la clef.

Les durées (col. 6 et 7) s'observaient sur une montre à secondes bien réglée.

Le charbon (col. 8) était pesé sur une bascule.

L'eau totale (col. 9) était mesurée au moyen de la bâche jaugée et de son tube de niveau.

En divisant les nombres de la col. 8 par ceux de la col. 7, et par la surface de grille, soit $0^{mq},36$, on obtient les chiffres de la col. 10.

Les nombres inscrits dans les col. 11, 12 et 13 sont les plus intéressants au point de vue spécial qui fait l'objet des présentes études. Voici comment ils ont été établis. Les col. 11 et 12 donnent, pour chaque journée d'expérience, la vaporisation par heure et par mètre carré de surface de chauffe.

Pour rendre les résultats ainsi obtenus comparables à ceux fournis par les expériences décrites dans la deuxième et dans la troisième Partie, on aurait dû, à la rigueur, ramener par le calcul cette vaporisation aux deux mêmes termes extrêmes : température initiale de l'eau 0° et température de vaporisation 100°, mais la correction à apporter eût été insignifiante, et il n'en a pas été tenu compte. Pour calculer les nombres inscrits dans la colonne 11, on s'est contenté de diviser ceux de la col. 9 par ceux de la col. 7 et par la surface de chauffe $3^{mq},30$ de la chaudière.

Pour calculer les nombres de la col. 12, on a divisé ceux de la col. 9 par ceux de la col. 7 et par la surface totale $13^{mq},34$ de la chaudière et des réchauffeurs réunis.

Les nombres de la col. 13 ont donné lieu à un calcul un peu plus compliqué. Ainsi qu'il a été dit plus haut, on a déterminé les abaissements successifs du plan d'eau dans le tube isolateur, au moyen d'observations faites à l'échelle du tube de niveau. Les résultats ainsi obtenus sont entachés de légères irrégularités, dues aux petites variations de l'allure et de la pression, et aux erreurs d'observation : il s'agit de s'en affranchir.

A cet effet (*fig.* 9), on a tracé sur du papier quadrillé la courbe des observations brutes, en prenant pour abscisses les temps écoulés à partir de l'origine de l'observation, et pour ordonnées les hauteurs du plan d'eau dans le tube de niveau à partir du sommet de l'échelle. Cette courbe une fois dessinée, on trace une droite qui se rapproche autant que possible de la courbe; l'inclinaison de cette droite sur l'axe des abscisses représente la vitesse moyenne d'abaissement du plan d'eau, il est facile d'en déduire la hauteur dont ce plan d'eau se serait abaissé en une heure, en supposant une baisse régulière.

Appelons :

h cette hauteur en centimètres,

s l'aire de la section intérieure du cylindre isolateur, soit $81^{cmq},7$.

s' l'aire de la surface de chauffe du même cylindre, soit $123^{cq},9$.

La hauteur d'eau évaporée, rapportée au mètre carré de surface de chauffe, a évidemment pour valeur

$$\frac{s}{s'}h^{cm},$$

ce qui correspond à un volume de

$$10\frac{s}{s'}h^{lit}\ (^1).$$

Pour rendre les résultats comparables à ceux des expériences ultérieures, on a ramené le tout aux limites de température 0° et 100°.

L'eau contenue dans le tube isolateur est chaude au commencement de l'expérience, la chaleur communiquée à l'eau n'a donc servi qu'à produire de la vapeur, sans élévation de température.

Or, à la pression de l'expérience (4^{kg} effectifs), la chaleur de vaporisation de l'eau est de 500 calories.

Pour chauffer 1^{kg} de cette eau à partir de 0° et la vaporiser à 100°, il faudrait lui fournir 637 calories.

Le chiffre de vaporisation en eau chaude doit donc être multiplié par le coefficient $\frac{500}{637}$.

Par suite, la quantité d'eau froide vaporisée à 100° par heure et par mètre carré au coup de feu, chiffre inscrit dans la colonne 13, est donnée par la formule

$$10\frac{s}{s'}\times\frac{500}{637}h = 5,176\,h.$$

C'est ainsi qu'a été établi le Tableau suivant.

---

(1) Les hauteurs d'eau ont été mesurées sur l'échelle du tube; à la rigueur, ces hauteurs auraient dû être ramenées à 0°, mais cette correction insignifiante a été négligée.

Expériences sur une chaudière en feu.

DÉSIGNATION des expériences.		OUVERTURE du registre.	SOUFFLEUR.	FEU.	DURÉE de l'expérience.		CONSOMMATION totale.		CONSOMM. de charbon par heure et m. q. de surf. de grille.	EAU FROIDE VAPORISÉE à 100° par heure et m. q. de surf. de chauffe		
					Partielle.	Totale	Charbon.	Eau.		de la chaudière.	de la chaudière et des réchauffrs	au coup de feu.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		mm.			min.	h. m.	kg.	litres.	kg.	litres	litres	litres
11 août	A_a A'_a	100 85	fermé fermé	tr. peu actif bas	50 56	2h 30m	72	392	80	47,51	11,75	125 102
18 août	C_a C'_a	150 155	fermé fermé	assez actif peu actif	41 39	2h 0m	100	436	140	66,66	16,50	143 135
21 août	D_a	200	fermé	actif	31	2h 0m	102	420	143	63,63	15,75	180
22 août	E_a E'_a	300 320	fermé fermé	bien actif bien actif	21 34	2h 0m	130	550	182	83,33	20,62	245 159
24 août	F_a F'_a F''_a	520 520 520	fermé fermé fermé	bien actif très actif très actif	29 30 27	2h 0m	140	610	196	92,42	22,87	172 184 245
28 août	H_a H'_a	520 520	fermé fermé	très actif très actif	27 30	1h 50m	130	570	196	94,21	25,63	203 193
25 août	G_a G'_a	520 520	ouvert de 0,24 id.	très actif violent	37 38	1h 40m	140	450	235	81,81	20,25	145 131
29 août	I_a I'_a	520 520	ouvert de 0,26 id.	ardent très vif	30 37	1h 40m	142	520	238	94,54	23,40	213 161

Observations et conséquences. — Ce Tableau donne lieu à quelques remarques intéressantes. En général, l'allure a été fort vive.

La consommation de charbon, par heure et par mètre carré de grille (col. 10), n'est pas descendue au-dessous de 80^{kg}. Dans les chaudières fixes de l'industrie, à foyer extérieur, on s'en tient le plus souvent à des chiffres de 50^{kg} à 60^{kg}. Dans les chaudières à foyer intérieur, type qui comporte des grilles de dimensions restreintes, on ne dépasse guère, avec tirage naturel, 100^{kg} à 120^{kg}; pour aller au delà, il faut recourir au tirage artificiel. Mais ce n'est qu'exceptionnellement, dans les générateurs fixes, qu'on arrive à 200^{kg}. Il est vrai que, dans les locomotives, on atteint et dépasse même 300^{kg}; mais, dans ce type de chaudière, le ciel du foyer est très élevé au-dessus de la grille et moins directement exposé à l'action des flammes. Les nombres dépassant 150^{kg} correspondent donc à des allures, qu'avec le type de chaudière mis en expérience, on considérerait avec raison comme dangereuses. Les chiffres 235 et 238 correspondent à des allures à outrance.

La vaporisation rapportée au mètre carré de surface de chauffe de la chaudière (col. 11) est extrêmement active. Au lieu des chiffres de 12^{kg} à 20^{kg} par heure, qui sont pratiqués en général dans les chaudières fixes, et des chiffres de 35^{kg} à 45^{kg} qui sont habituels dans les chaudières de locomotives, on voit figurer ici un minimum de 47^{kg} et un maximum de 94^{kg}. Ce sont des intensités de vaporisation qu'on ne rencontre pas dans la pratique. Il est vrai que la surface de chauffe de la chaudière proprement dite ($3^{mq},30$) est petite par rapport à la surface de grille ($0^{mq},36$); le rapport de ces deux surfaces n'est que de $\frac{9}{1}$. Toutefois, si l'on tient compte des réchauffeurs, ce qui porte la surface de chauffe à $13^{mq},34$, on arrive à un rapport de 37, qui rentre dans les proportions habituelles des chaudières à rendement élevé. Or, avec de pareilles chaudières, on s'en tient en général à des vaporisations de 8^{kg} à 12^{kg} d'eau froide par heure et par mètre carré de surface de chauffe, et l'on reste toujours bien au-dessous des chiffres de 23^{kg} et 25^{kg} portés à la colonne 12.

Les nombres inscrits dans la colonne 13 sont ceux qui nous

intéressent le plus. Aux allures relativement modérées, la vaporisation en eau froide, par heure et par mètre carré de surface de chauffe au coup de feu, s'est tenue entre 100^{kg} et 140^{kg}. Mais aux allures vives, on a atteint des chiffres de 200^{kg} à 240^{kg}, même dans un cas 245^{kg}, nombre qui ne semble guère devoir être atteint dans aucun cas de la pratique.

Avec le tirage forcé, la combustion a été beaucoup plus intense qu'avec le tirage naturel. Il est à remarquer, au contraire, que la vaporisation n'a pas été plus active qu'avec le tirage naturel, le registre étant grand ouvert. Cette circonstance tient peut-être aux rentrées d'air, qui doivent se produire, sous l'effet de la dépression existante, par les joints des portes et par les fissures de la maçonnerie. Lorsque l'on faisait usage du souffleur, le feu était très ardent et le registre était promptement porté au rouge; aussi l'utilisation du combustible devenait-elle fort médiocre.

Conclusions. — On peut résumer comme il suit les résultats de ces expériences.

Aux allures ordinaires des générateurs fixes de l'industrie, la vaporisation au coup de feu semble ne pas devoir dépasser 100^{kg} à 140^{kg} d'eau froide par heure et par mètre carré de surface de chauffe. Il ne paraît pas que, dans aucun cas de la pratique courante, cette vaporisation atteigne le chiffre de 250^{kg}.

DEUXIÈME PARTIE.

Expériences sur la transmission de la chaleur à travers le métal et du métal à l'eau.

Les expériences décrites dans la première Partie du présent Mémoire ont eu pour résultat de fixer les idées sur l'intensité du flux de chaleur qui, dans une chaudière ordinaire, peut traverser la paroi au droit du coup de feu. On possède ainsi,

en quelque sorte, une unité pouvant servir de terme de comparaison.

On ne peut songer à étudier directement, sur une chaudière en fonction, les circonstances dans lesquelles les coups de feu sont à redouter. Si l'on essayait de provoquer des coups de feu sur un générateur, non seulement on courrait le risque de mettre promptement l'appareil hors de service, mais encore il serait fort difficile d'étudier dans leurs détails les phénomènes, de les varier, et de faire des mensurations même approximatives. Il a donc fallu tourner cette difficulté, et, à cet effet, on a opéré de la manière suivante :

Principe des expériences. — Pour se rendre compte autant que possible des conditions dans lesquelles la température d'une tôle de chaudière peut s'élever d'une manière dangereuse et anormale, on a pris un morceau de tôle, on l'a soumis à un feu violent sur une de ses faces, l'autre face étant refroidie par de l'eau, et l'on a mesuré d'une part la quantité de chaleur qui traversait la paroi, d'autre part la température que prenait la tôle sur sa face exposée au feu. On a d'ailleurs varié les expériences en donnant au feu plus ou moins d'activité et en modifiant de diverses manières les conditions du contact entre l'eau et le métal.

Dispositions des appareils. Tôle. — Voici quelles étaient les dispositions de l'appareil.

La tôle choisie est une tôle fine de chaudière, bien plane, bien saine, de 10^{mm} d'épaisseur, rabotée sur ses deux faces; elle est découpée en forme d'un disque (*Pl. II, fig.* 10 et 12) de $0^{m},40$ de diamètre, percé sur son pourtour de trous de boulons, pour l'assemblage avec la chaudière dont il va être question ci-après.

Fourneau. — L'appareil de chauffage est constitué par une sorte de fourneau sur les bords duquel repose la tôle. Il se compose (*fig.* 10, 13 et 14) d'un fond de creuset en terre réfractaire, percé d'un trou C, par lequel s'élance le jet de flamme d'un fort chalumeau; les bords supérieurs ne sont pas

en contact avec la tôle, mais en sont distants de $0^m,02$ environ, de manière à ménager un large passage annulaire, par lequel s'échappent les gaz chauds. Une seconde enveloppe réfractaire DD, de forme cylindrique, vient, au contraire, à toucher la tôle, et ramène le courant de flammes vers le bas; cette enveloppe extérieure a deux objets : d'une part, elle contribue à concentrer la chaleur dans le creuset, et par conséquent à élever la température; d'autre part, elle limite aussi exactement que possible la portion de la tôle exposée à l'action du feu; à cet effet, entre la tôle et les bords de l'enveloppe DD, on fait un joint en mortier réfractaire.

L'enveloppe CC est soutenue par quatre cales en brique réfractaire et centrée au moyen de quatre autres cales. Tout le fourneau est porté par une petite construction en briques, reposant, par l'intermédiaire d'une feuille de tôle, sur une solide table. Pour empêcher que le poids de la chaudière n'écrase le fourneau, on soutient la tôle par le cercle en fer *ee*, lequel est porté par quatre pieds en fer; la mise à hauteur exacte se fait au moyen de cales en fer, interposées entre le cercle et la tôle.

Chalumeau. — La flamme est donnée par un gros chalumeau Schlœsing (*Pl. II, fig.* 10, 11, 13 et 14) de 26^{mm} de diamètre, alimenté par une conduite de gaz et par une soufflerie. Les détails des conduites et des moyens de réglage sont donnés dans la *fig.* 11.

Appareil de réglage. — L'air comprimé est fourni par une pompe Wiesnegg, actionnée par un moteur à gaz Bisschop de la force de $\frac{1}{3}$ de cheval. Cet air arrive dans le réservoir F, et sa pression est mesurée par un manomètre à mercure et à air libre; cet air est amené à l'appareil de réglage G à quatre robinets gradués.

Le robinet k, qui donne accès à l'air comprimé, est toujours grand ouvert pendant l'expérience; il ne sert que de robinet de garde. Le robinet k_1 délivre l'air comprimé au chalumeau; on le règle au commencement de chaque expérience et on n'y touche plus; les deux robinets k_2 et k_3 servent à maintenir

constante la pression dans le réservoir F; à cet effet, on les règle au commencement de l'expérience, de manière que, k_2 étant entr'ouvert et k_3 donnant passage à un très faible débit, la pression indiquée par le manomètre h reste à peu près invariable; les faibles variations accidentelles qui se produisent pendant le cours d'une expérience sont corrigées au moyen de k_3, qui fait ainsi l'office de vis de rappel.

Le gaz est amené au chalumeau par le robinet gradué l, précédé d'un régulateur de débit dans certaines expériences.

Mesure de la chaleur. — Pour mesurer la quantité de chaleur qui traverse la tôle, on a jaugé la quantité de vapeur saturée et sèche à 100° produite, en un temps donné, par la surface de chauffe délimitée par les bords de l'enveloppe DD.

Chaudière. — A cet effet, sur les bords de la tôle, on a fixé, à joint étanche, un cylindre de cuivre HH (*fig.* 10); ce cylindre et la tôle forment ainsi une chaudière, que l'on maintient pleine d'eau à un niveau constant; la quantité d'eau évaporée par cette chaudière à la pression atmosphérique donne la mesure de la quantité de chaleur qui a traversé la tôle.

Pour que la mesure soit correcte, il faut, d'une part, que la vapeur soit sèche, d'autre part, qu'il n'y ait pas de pertes de chaleur par rayonnement.

Voici les dispositions qui ont été prises à cet effet :

Le feu étant très actif, l'ébullition est fort violente, et, lorsque la chaudière est découverte, il y a des projections abondantes de gouttelettes, qui fausseraient tous les résultats; pour éviter cet inconvénient, on a couvert la chaudière d'un chapeau conique en cuivre, dont les bords sont maintenus à une faible distance de ceux de la chaudière par des cales, de manière à ménager, sur tout le pourtour, un passage annulaire à la vapeur; les gouttelettes projetées sur le chapeau sont ramenées par le rebord intérieur *nn*.

Pour éviter les pertes par rayonnement, on a entouré l'ensemble de la chaudière et de son chapeau par une enveloppe générale en cuivre LL, dans laquelle circule la vapeur produite par la chaudière; le joint dans le bas est fait par un gros tuyau

de caoutchouc, enroulé autour de la chaudière; l'échappement se fait par l'ajutage *p*. Tous les passages de vapeur sont extrêmement larges, de telle sorte qu'il n'existe aucune contre-pression, ainsi que le démontre d'ailleurs le fonctionnement des appareils de jaugeage, dont il sera question ci-après.

La protection contre les radiations peut être considérée comme complète, sauf en ce qui concerne la zone de la tôle AA, qui se trouve à l'extérieur du fourneau; mais cette zone assez étroite est baignée par les gaz encore chauds qui s'échappent du fourneau, et cette influence est négligeable.

Jaugeage de la vapeur. — On jauge la quantité de vapeur produite en mesurant le poids d'eau distillée qu'il est nécessaire d'introduire dans la chaudière pour y maintenir le niveau constant.

Le niveau dans la chaudière est maintenu un peu au-dessus de la tubulure *q* (*fig.* 10 et 11) par laquelle se fait l'alimentation. Cette tubulure communique avec un flacon de Mariotte M (*fig.* 11) qui sert de vase jaugeur. Ce flacon a été préalablement taré à la balance, et porte une échelle divisée en hectogrammes; le bas du tube plongeant, qui fournit l'air au flacon au fur et à mesure que l'eau s'en écoule, est arasé à la hauteur du niveau que l'on veut maintenir dans la chaudière. L'approvisionnement d'eau distillée est contenu dans un grand flacon N, d'où l'on peut le tirer pour remplir le flacon jaugeur M, au moyen d'un siphon et de divers robinets et tuyaux, dont les dispositions et le jeu se lisent sur la figure.

Mesure de la température de la tôle. — Il serait intéressant de connaître la température exacte de la face de la tôle qui est exposée au feu; mais c'est là un résultat fort difficile à atteindre; on a dû se contenter d'une approximation, en multipliant les expériences, de manière à obtenir des moyennes. Voici le procédé employé:

On a fait préparer un certain nombre d'alliages, fusibles à des températures graduées et connues. Avec ces alliages, on a formé des chevilles, que l'on a enfoncées dans des trous,

pratiqués dans la tôle; la mise en place de ces chevilles étant faite avec un soin convenable, on peut admettre, eu égard à la conductibilité élevée des métaux, que les surfaces isothermes sont à peu près parallèles aux faces de la tôle, autrement dit, qu'en chacune de ses sections transversales, la cheville a la même température que le fer avec lequel le pourtour de cette section est en contact.

Après chaque expérience de vaporisation, on examine le fond de la chaudière; un certain nombre de chevilles, les plus fusibles, sont fondues, les autres sont intactes. On obtient ainsi deux points de repère, plus ou moins voisins, entre lesquels était comprise la température de la face de la tôle exposée au feu pendant l'expérience; car il est clair que cette température était supérieure à la température de fusion de la moins fusible des chevilles fondues, et inférieure à celle de la plus fusible des chevilles intactes.

On a disposé les chevilles, au nombre de 12, suivant un premier cercle concentrique au fond de la chaudière (*fig.* 12), et de $0^m,06$ de diamètre. Puis, comme la répartition des températures n'est pas tout à fait uniforme, on a disposé un second cercle de 12 chevilles et d'un diamètre de $0^m,12$, le diamètre de la partie limitée par l'enveloppe DD′ étant à très peu près de $0^m,16$. Tous les trous sont numérotés.

Les trous dans lesquels sont fixés les chevilles ont un diamètre de 3^{mm} et une profondeur de 6^{mm}.

Les alliages constituant les chevilles ont été, au préalable, vérifiés; à cet effet, l'alliage à essayer était mis en fragments dans un petit creuset; au centre plongeait la boule d'un thermomètre bien étalonné. On chauffait très lentement, et l'on notait la température de fusion; puis on laissait refroidir lentement, et l'on vérifiait si la solidification se faisait à la même température.

Ce procédé n'est plus guère applicable pour des températures dépassant 300°. Pour mesurer ces températures, on s'est contenté de chevilles en plomb pur et en zinc pur. On a adopté 335° pour température de fusion du plomb et 450° pour température de fusion du zinc. Ces températures, surtout la dernière, sont d'ailleurs un peu incertaines.

On a ainsi obtenu les chiffres inscrits au Tableau ci-après.

Cercle intérieur.

N°s des trous...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Température de ramollissement										Plomb.		Zinc.
des chevilles..	110°	121°	128°	143°	150°	170°	187°	220°	250°	335°	335°	450°

Cercle extérieur.

N°s des trous...	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Température de ramollissement					Plomb.		Zinc					
des chevilles..	170°	187°	220°	250°	335°	335°	450°	110°	121°	128°	143°	150°

Si l'on jette les yeux sur la *fig.* 12, on verra que deux chevilles fondant à la même température et placées, l'une sur le cercle intérieur, l'autre sur le cercle extérieur, sont à l'opposé l'une de l'autre. Cette précaution a été prise pour atténuer autant que possible les effets des inégalités locales de chauffage.

Légende. — La légende ci-après résume les dispositions principales de l'appareil d'expérience (*fig.* 10 à 14).

AA, tôle de fer fin de 10mm d'épaisseur.
BB, fourneau en terre réfractaire.
C, trou par lequel la flamme entre dans le fourneau.
DD, enveloppe du fourneau en terre réfractaire.
EE, chalumeau Schlœsing de 26mm de diamètre.
aa, bords de l'enveloppe du fourneau, joints à la tôle AA par un lut réfractaire.
bb, cales réfractaires supportant l'enveloppe DD.
dd, cales réfractaires pour le centrage de l'enveloppe DD.
ee, cercle en fer supportant la tôle AA.
ff, pieds du cercle *ee*.
gg, cales en fer pour le réglage de la hauteur de la tôle AA.
F, réservoir d'air comprimé.
h, manomètre à mercure à air libre.
G, appareil de réglage de l'air comprimé.
k, k_1, k_2, k_3, robinets de réglage de l'air comprimé.
l, robinet de réglage du gaz.

HH, paroi latérale de la chaudière.
K, K, chapeau de la chaudière.
m, *m*, cales soutenant le chapeau KK.
n, *n*, rebord intérieur du chapeau KK.
LL, enveloppe extérieure de la chaudière.
o, *o*, tube en caoutchouc formant joint.
p, échappement de la vapeur.
q, tubulure par laquelle se fait l'alimentation.
M, flacon jaugeur, en forme de vase de Mariotte.
r, orifice du tube d'amenée d'eau.
N, approvisionnement d'eau distillée.
s, chevilles fusibles.
O, O, tôle d'acier de 5^{mm}, ajoutée pour les expériences sur l'effet des doublures de tôle.

Marche des expériences. — Voici comment les expériences étaient conduites.

La chaudière vide était retournée sens dessus dessous; on retirait à la tarière les chevilles ramollies dans l'expérience précédente; on nettoyait soigneusement les trous vides, dans lesquels on replaçait des chevilles neuves. A cet effet, le métal fusible était ajusté au diamètre du trou, enfoncé avec précaution, coupé à 2^{mm} environ au-dessus de la surface de la tôle, puis maté au refus; le métal excédent était coupé à ras la surface au moyen d'un ciseau bien affûté; puis on passait sur le tout quelques coups de papier d'émeri fin, pour bien araser la surface et marquer sur la coupe du métal des traits fins, dont on verra tout à l'heure l'usage.

La face intérieure de la tôle étant bien nettoyée, on remettait la chaudière en place, on faisait, au lut réfractaire, le joint avec le fourneau; on mettait de l'eau dans la chaudière à une hauteur un peu supérieure au niveau normal à maintenir pendant l'expérience; on disposait le chapeau K, l'enveloppe L et les raccords en caoutchouc; puis on réglait les robinets et l'on donnait le feu, en maintenant une allure aussi constante que possible.

Il fallait un temps assez long pour que l'eau de la chaudière fût portée à l'ébullition, et pour que la tranche d'eau excédant le niveau normal fût vaporisée; pendant ce temps, toutes les

parties du fourneau se mettaient en équilibre de température; d'ailleurs la marche du flacon jaugeur indiquait ultérieurement si le régime régulier était bien établi. Lorsque le plan d'eau dans la chaudière était descendu au niveau du débouché *r* du flacon de Mariotte, les bulles d'air commençaient à s'introduire par cet orifice; à ce moment, l'expérience de vaporisation commençait.

Un observateur, muni d'un compteur à secondes, suivait la marche du plan d'eau dans le flacon jaugeur M, et notait les instants du passage à chacune des divisions de l'échelle. Quand le flacon était vide, on arrêtait la vaporisation, ou bien on recommençait un second jaugeage dans les mêmes conditions.

Pour terminer l'expérience, on fermait le robinet de gaz, mais l'on continuait à souffler pendant assez longtemps, pour éviter que le bec du chalumeau Schlœsing ne fût fondu ou détérioré. La chaudière était vidée et démontée, puis on procédait à l'examen des chevilles.

Cet examen se faisait à la loupe; les stries laissées par le passage du papier d'émeri servaient de repères; quand ces stries avaient disparu, et étaient remplacées par des aspérités irrégulières avec traces d'irisation, on admettait que la surface libre de la cheville avait atteint ou dépassé la température du ramollissement.

La surface de la tôle qui avait été mise en contact avec la flamme était cernée par la trace laissée par le lut interposé entre la tôle et l'enveloppe du fourneau; on mesurait trois ou quatre diamètres de cette surface, et l'on prenait la moyenne comme diamètre moyen.

La température de l'eau d'alimentation, qui d'ailleurs variait peu, était relevée au cours de chaque expérience.

La méthode d'expérimentation qui vient d'être décrite a été modifiée dans certains essais en vue de recherches spéciales, sur lesquelles nous aurons à revenir.

Calcul et tracé des expériences. — Chaque expérience était immédiatement calculée et rapportée sur une feuille de papier quadrillé. On voit comme exemple, sur la *fig.* 15, la

reproduction de la feuille correspondant à l'expérience U, du 23 août 1887.

Dans cette expérience, on a vaporisé de l'eau distillée. La température de l'eau d'alimentation était de 19°, le robinet de gaz était ouvert à 6°, la pression de l'air dans le réservoir était maintenue à 14^{cm} de mercure; le diamètre moyen de la partie de la tôle exposée à la flamme a été trouvée de 158^{mm}, correspondant à une surface de $0^{mq},0196$.

Le diagramme tracé en dessous de ces indications numériques représente la marche du plan d'eau dans le tube jaugeur; les abscisses sont les temps relevés au compteur, les ordonnées sont les poids d'eau écoulés. Une fois le tracé effectué au moyen des données brutes inscrites sur le registre des expériences, on trace une droite moyenne; si l'expérience a été régulière, les constatations individuelles doivent s'écarter très peu de cette droite; sinon l'expérience est rejetée. Sur la ligne moyenne on prend deux points suffisamment distants, on mesure leurs coordonnées, et l'on en déduit la vaporisation moyenne par heure, par un calcul conduit comme ci-après :

A $10^h\ 5^m$,	le flacon jaugeur marquait.......	250^{gr}
A 10 20	» » »	980
15^m		730^{gr}

Différences.

Donc, en 15^m, la vaporisation moyenne a été de............. 730^{gr}

Soit en 1^h.. 2920^{gr}

La chaleur totale de la vapeur d'eau à 100° est de........

$606,5 + 0,305 \times 100 =$ 637^{cal}

Mais l'eau d'alimentation étant à 19° la quantité de chaleur représentée par la vaporisation de 1^{kg} d'eau est de........... 618^{cal}

Les 2920^{gr} d'eau vaporisée seraient donc réduits dans la proportion de $\frac{618}{637}$ si l'eau d'alimentation eût été ramenée à 0°; et avec une surface de chauffe de 1^{mq}, au lieu de $0^{mq},0196$, la vaporisation eût été de

$$\frac{2920 \times \frac{618}{637}}{0,0196} = 144^{kg},5,$$

chiffre qui représente la quantité d'eau froide à 0° qu'aurait vaporisée 1^{mq}

de surface de chauffe d'une chaudière travaillant dans les conditions de l'expérience.

Ce sont les chiffres ainsi calculés qui servent de base de comparaison pour toutes les expériences.

Enfin, sur la même feuille, sont inscrites les indications relatives à l'état des chevilles, tel qu'il a été constaté à la fin de l'expérience. Dans l'expérience U, on voit que sur le cercle extérieur, la cheville 13 (température de fusion 170°) a été fondue, tandis que la cheville 14 (187°) était intacte; la température de la face de la tôle exposée au feu était donc, le long de ce cercle, comprise entre 170° et 187°.

Sur le cercle intérieur, la cheville 7 (187°) a été trouvée légèrement fondue, et la cheville 8 (220°) intacte; la température de la surface de la tôle le long de ce cercle était comprise entre 187° et 220°, mais voisine de 187°.

Détails complémentaires. — Avec l'appareil précédemment décrit, on a pu obtenir des vaporisations (en eau prise à 0°) variant entre 100^{kg} et plus de 370^{kg} par heure et par mètre carré.

Pour avoir une idée de la température qui peut être développée dans ces expériences, on a disposé dans le fourneau un petit creuset fermé, contenant des pointes de Paris, et fermé la gueule du fourneau par un couvercle réfractaire, remplaçant la tôle de fond de la chaudière d'essai. Puis on a donné le feu, en le réglant comme s'il s'agissait d'un essai de vaporisation pour un chiffre d'environ 350^{kg}. Le fourneau atteignit promptement la température du rouge blanc, et, au bout de quelques minutes, les pointes étaient ramollies, au point de se souder les unes aux autres.

La pression de l'air comprimé a varié dans les diverses expériences depuis 0^{m},10 jusqu'à 0^{m},60 de mercure.

Dans un grand nombre d'expériences, on a constaté que le cercle intérieur de chevilles fusibles avait été plus chauffé que le cercle extérieur, mais cette différence n'a jamais dépassé l'écart entre les points de ramollissement de deux chevilles

consécutives, et, comme on le verra plus bas, il est probable que cet écart est resté toujours au-dessous d'une vingtaine de degrés.

En général, le feu était réglé de manière à amener dans le fourneau un mélange à combustion complète, sans excès notable d'air. Dans quelques expériences à feu modéré, on a admis un excès de gaz, de façon à entretenir dans le fourneau une flamme réductrice; en pareil cas, la tôle se couvrait d'une légère couche noirâtre qui, traitée par l'acide chlorhydrique, dégageait une odeur sulfureuse très nette; il y avait donc eu un commencement de sulfuration du métal.

Expériences avec l'eau distillée. — Il s'agit maintenant de coordonner toutes ces expériences, et d'en déduire des conclusions. Afin de montrer la méthode qui a été suivie, nous étudierons d'abord avec quelque détail les expériences qui ont été faites avec l'eau distillée mouillant directement le fond de la chaudière. Ces expériences sont en grand nombre; on n'a retenu que celles dont la marche a été régulière, et on les a résumées dans un Tableau graphique (*fig.* 16).

Voici comment ce Tableau a été dressé :

On trace deux axes de coordonnées; les abscisses représentent les quantités d'eau froide prise à 0° et vaporisées par heure et par mètre carré de surface de chauffe; les ordonnées sont les températures. A côté de l'échelle des températures, on indique les numéros des chevilles fusibles, à la hauteur correspondante à leur point de ramollissement; ainsi, les chevilles 6 et 13 sont inscrites vis-à-vis la température 170°.

Le Tableau ainsi préparé, on y applique les résultats des expériences individuelles. Par exemple, l'expérience U, du 23 août 1887, dont le tracé est reproduit sur la *fig.* 15, a donné une vaporisation, en eau froide par heure et par mètre carré, de $144^{kg},5$.

D'autre part, la température sur la face de la tôle exposée au feu, était comprise, sur le cercle extérieur, entre les points de ramollissement des chevilles 13 (170°) et 14 (187°).

En conséquence, on trace une verticale au point 128,5 de

l'axe des abscisses, et l'on marque les points d'intersection de cette verticale avec les horizontales à 187° et 220°. Ces points d'intersection sont repérés par une petite flèche ↕, signe adopté pour caractériser le cercle intérieur de chevilles.

Ayant ainsi enregistré graphiquement les résultats des expériences, on trace une ligne continue AA, qui passe entre les deux flèches d'un même groupe; grâce au nombre des résultats obtenus, le tracé de cette ligne ne laisse pas beaucoup d'incertitude. On voit qu'elle coupe l'ordonnée UU à quelques degrés seulement au-dessous de 170°, ce qui correspond bien aux indications directement relevées lors de l'expérience. Cette ligne représentera la variation de la température de la surface de la tôle, en fonction de l'activité de la vaporisation.

On répète la même série d'opérations pour le cercle intérieur de chevilles; les points trouvés sont marqués d'un petit cercle ⊙. La ligne BB est la ligne d'interpolation, tracée comme on l'a vu plus haut. Cette ligne est assez bien déterminée. On n'a pas craint, en la traçant, de passer au-dessus du point O (14 juillet 1887), le registre d'expériences portant, pour ce point, la mention : « La cheville n° 8 paraît très douteusement atteinte. »

Observations sur ces expériences. — Du diagramme ainsi obtenu, on peut tirer quelques conclusions intéressantes.

En premier lieu, la température de la surface de la tôle n'était pas uniforme dans chaque expérience : au droit des chevilles intérieures, c'est-à-dire sur la partie directement frappée par le coup de feu, elle est restée supérieure à celle du cercle extérieur de chevilles; l'écart est de 16° d'après le diagramme. Entre les deux lignes de température AA et BB, on a tracé une ligne moyenne CC, dont on verra ci-après l'usage.

La température de la face de la tôle exposée au feu s'élève progressivement, en même temps que la quantité de chaleur qui traverse cette tôle. Pour interpréter correctement les phénomènes, il convient de considérer, non pas la température du métal, mais l'excès de cette température au-dessus de celle de l'eau que contient la chaudière, c'est-à-dire au-dessus

de 100°. On trouve ainsi que, pour la tôle de 10^{mm} expérimentée, cet écart est de 75° environ pour une vaporisation de 100^{kg}.

Dans son *Traité de la chaleur*, Péclet indique, pour le fer, un coefficient de conductibilité égal à 19; il ne donne d'ailleurs ce chiffre que sous les plus expresses réserves. Ce coefficient 19 représente le nombre de calories qui traverserait, en une heure, une lame de fer de 1^{mq} de surface et de 1^m d'épaisseur, et dont les faces seraient maintenues à des températures constantes différant de 1°.

Si l'on désigne par

Q la quantité de chaleur traversant une lame de fer de 1^{mq} de surface en 1^h,

e l'épaisseur de la lame en mètres,

x la différence des températures des deux faces,

on aura

$$Q = \frac{19x}{e} \qquad \text{ou} \qquad x = \frac{Q \times e}{19}.$$

Appliquons à cette formule les chiffres cités ci-dessus; il faudra poser

$$Q = 637 \times 100, \qquad e = 0,01$$

et il viendra

$$x = \frac{63700 \times 0,01}{19} = 33^\circ.$$

Mais l'écart entre la température de l'eau (100°) et celle de la face extérieure de la tôle a été trouvée de 75°; la température de cette face était donc de.................. 175°
par suite, la température de la face mouillée serait de.................................. $175^\circ - 33^\circ = 142^\circ$
excédant de 42° la température de l'eau.

Hâtons-nous de dire qu'un pareil calcul ne saurait conduire à aucune conséquence acceptable, les coefficients de conductibilité des métaux n'étant pas connus avec une approximation suffisante.

Quoi qu'il en soit, on voit, sur la *fig.* 16, qu'à mesure que la vaporisation devient plus active, l'écart entre la température

de la face chauffée de la tôle et celle de l'eau s'élève progressivement. Cet écart est de 100° environ pour une vaporisation de 200kg; il n'atteint pas 150° (ligne BB des chevilles intérieures) même lorsque la vaporisation arrive au chiffre énorme de 370kg.

On peut admettre que cet écart ne varie pas beaucoup, quand la température de l'eau intérieure s'élève. Si, par exemple, on a affaire à un foyer en fer de 10mm d'épaisseur, mouillé par de l'eau à 180° (8kg,5 de pression effective par centimètre carré) et vaporisant 200kg d'eau froide par heure et mètre carré, l'écart correspondant étant de 100°, la température de la tôle n'atteindrait en aucun point 280°.

Ces chiffres sont confirmés par tous les faits observés dans le fonctionnement des chaudières à vapeur tenues en bon état.

Il n'est pas inutile de rappeler ici certaines expériences bien connues, mais qui ne sont pas sans intérêt et qui démontrent avec quelle rapidité la chaleur se transmet d'une paroi à l'eau qui la mouille. On construit en papier un petit chaudron à fond plat, on le remplit d'eau, on le dispose au-dessus de la flamme d'une bougie; l'eau ne tarde pas à entrer en ébullition sans que le papier soit altéré.

Nous avons répété cette expérience sous bien des formes; nous avons remplacé la flamme de la bougie par celle d'un gros bec Bunsen ou par celle d'un fort chalumeau d'émailleur, qui fondait le verre en quelques instants : le résultat a toujours été le même; souvent les bords du papier s'enflamment, mais la combustion s'arrête au niveau de l'eau et tout ce qui est mouillé reste intact. Si, entre la flamme et le fond du chaudron, on place une feuille de papier en contact avec ce fond, elle brûle immédiatement; mais le chaudron lui-même n'est pas attaqué.

Ces faits et les chiffres précédents sont de nature à dissiper bien des craintes sur les conséquences que peut entraîner un feu ardent. Il ne semble pas que, dans la pratique, l'on ait à redouter un coup de feu en pleine tôle, quelle que soit l'activité de la vaporisation, si le métal est sain, bien continu et directement mouillé par l'eau.

Mais il peut en être autrement si des circonstances quelconques viennent à gêner la transmission libre de chaleur, soit dans la masse du métal, soit entre le métal et l'eau.

C'est dans le but d'étudier ces influences qu'ont été faites les expériences suivantes.

Eau amidonnée. — Dans certains cas, l'eau des chaudières est visqueuse, soit parce qu'on y a introduit des matières propres à diminuer les incrustations, soit pour toute autre cause. Cette viscosité entrave les mouvements du liquide, et l'on s'est demandé souvent s'il n'y aurait pas là une cause de coups de feu.

Pour éclairer ce point, nous avons répété les expériences précédentes, en remplaçant, dans la chaudière, l'eau distillée par de l'eau contenant de l'amidon.

Dans de l'eau distillée ordinaire, on a délayé une proportion déterminée d'amidon en poudre; on a fait bouillir de manière à émulsionner l'amidon. Le liquide refroidi est versé dans la chaudière d'expérience. On a soin de n'en verser que la quantité nécessaire pour affleurer l'orifice du tube plongeant du flacon jaugeur, de telle sorte qu'aussitôt que l'ébullition se manifeste, ce flacon, qui est plein d'eau distillée, commence à alimenter; on est sûr de cette façon que le titre en amidon de la liqueur restera constant pendant toute la durée de l'expérience. D'ailleurs, on avait la précaution de remplir le flacon jaugeur notablement au-dessus de la division o, de manière à laisser le régime permanent s'établir avant le commencement des opérations de jaugeage; les chiffres relevés ont montré que ce but était bien atteint.

On a fait avec l'eau amidonnée deux séries d'expériences, l'une avec de l'eau contenant 2 pour 1000, et l'autre 5 pour 1000 de son poids d'amidon.

L'eau à 2 pour 1000 d'amidon est déjà notablement visqueuse; elle poisse aux doigts d'une manière sensible; mise à bouillir dans une marmite, elle mousse et se boursoufle. Nul doute qu'employée dans une chaudière, elle donnerait lieu à des entraînements d'eau importants; mais ce n'est pas là l'objet de nos recherches. On a d'ailleurs constaté, dans les

expériences, que la vapeur sortant de l'orifice d'échappement était bien sèche.

Les expériences sur l'eau amidonnée aux 2 pour 1000 sont résumées dans la *fig.* 17 par la méthode de représentation précédemment expliquée. Le résultat en est bien net : la ligne des températures est un peu plus élevée que celle fournie par l'eau distillée; mais les écarts ne dépassent pas une quinzaine de degrés.

L'eau amidonnée à 5 pour 1000 est beaucoup plus visqueuse, et donne, à l'ébullition, un boursouflement très intense. Expérimentée dans notre appareil, elle n'a pas laissé, néanmoins, que de fournir de la vapeur bien sèche. Les résultats de ces expériences sont résumés sur la *fig.* 18 (*Pl. III*); ils ne diffèrent pas beaucoup de ceux obtenus avec l'eau amidonnée aux 2 pour 1000; la ligne des températures se maintient un peu plus élevée.

Cette proportion de 5 pour 1000 représente 5^{kg} d'amidon par mètre cube d'eau; il est rare qu'elle soit atteinte lorsque l'on fait usage de matières amylacées pour combattre les incrustations. Dans ces limites, l'emploi de l'amidon ne semble donc pas devoir présenter de graves inconvénients, du moins au point de vue spécial des coups de feu.

Tôle couverte de plâtre. — Pour nous rendre compte des effets des incrustations, nous avons fait quelques expériences en garnissant le fond de la chaudière de divers enduits. Après plusieurs insuccès, on s'en est tenu à des couches de plâtre minces, la chaudière d'essai étant remplie d'eau distillée.

On a appliqué sur la paroi intérieure de la tôle, une couche de plâtre fin de 1^{mm} d'épaisseur, gâché serré et bien appuyé. Aux expériences, cette couche est restée adhérente, mais elle s'est piquée et fendillée; il a été impossible de la tenir en place avec une vaporisation énergique; aussi a-t-on dû, dans ces essais, s'en tenir à des coups de feu relativement modérés, les expériences n'ont pas été poussées au delà d'une vaporisation de 187^{kg}. La ligne des températures (*fig.* 19) se tient à environ 30° au-dessus de celle fournie par l'eau distillée mouillant directement la tôle.

Une couche de plâtre de 5^{mm} d'épaisseur, appliquée dans les mêmes conditions, a fourni des résultats plus nets (*fig.* 20). On a pu atteindre une vaporisation de 217^{kg}. Mais, sous l'action de ce feu intense, la couche de plâtre s'est détachée vers le centre, suivant un cercle de 65^{mm} de diamètre.

Dans ces expériences, les effets fâcheux des incrustations se sont manifestés de la manière la plus claire.

Pour une vaporisation de 150^{kg}, la température extérieure de la tôle dépasse 250°, et pour 200^{kg} elle dépasse 400°.

Ces chiffres sont respectivement supérieurs de 35° et 210° à ceux fournis par l'eau mouillant directement la tôle.

Double fond soudé. — Les expériences décrites jusqu'ici ont porté sur les obstacles que la chaleur rencontre à son passage du métal à l'eau. Il restait à savoir ce qui se passe lorsqu'il y a interruption dans la continuité du métal, soit par l'effet d'une doublure, soit par l'effet d'une paille.

Il y a deux cas à distinguer, suivant que les deux parties du métal sont en contact intime ou qu'elles sont séparées par une couche mince de matières étrangères.

Pour reproduire approximativement le premier cas, on a soudé à l'étain, sur la face de la chaudière regardant l'eau, une plaque de tôle d'acier de 5^{mm} d'épaisseur. Cette plaque avait été, au préalable, exactement dressée et rabotée; avant de la mettre en place, on a soigneusement étamé, sur toute leur superficie, les faces qui devaient venir en contact; puis on a superposé les deux tôles, en intercalant entre elles une feuille d'étain; enfin on a chauffé le tout pour fondre l'étain en serrant énergiquement les deux tôles l'une contre l'autre, de manière à expulser une partie de l'étain interposé. L'appareil ainsi préparé et bien nettoyé a été rempli d'eau distillée et mis en expérience. Les résultats sont représentés sur la *fig.* 22.

En comparant ces résultats à ceux obtenus sur la tôle simple mouillée à l'eau distillée, on arrive aux conséquences suivantes :

Les deux lignes des températures restent presque parallèles, mais en s'écartant un peu pour les vaporisations actives; l'écart qui est d'environ 50° pour une vaporisation de 100^{kg},

atteint 70° pour une vaporisation de 300^{kg}. A ce dernier point, la température de la face exposée au feu dépasse de plus de 200° celle de l'eau.

Ces expériences semblent donc démontrer qu'il peut y avoir des inconvénients sérieux à exposer les clouures des chaudières à des feux trop ardents, même lorsque le contact entre les tôles rivées est tout à fait intime.

Double fond avec interposition de talc. — Pour reproduire l'effet des pailles qui se rencontrent dans les tôles mal soudées, on a saupoudré la surface intérieure de la tôle avec un peu de talc en poudre fine; puis on y a appliqué la feuille de tôle d'acier de 5^{mm} d'épaisseur, dont on s'était servi dans l'expérience ci-dessus décrite. Les deux tôles ont été serrées fortement au moyen de boulons, et la distance des faces en regard était réduite, après serrage, à environ $\frac{1}{10}$ de millimètre. L'appareil, rempli d'eau distillée, a été mis en expérience. Les résultats sont représentés *fig.* 23.

On voit qu'avec une vaporisation de 150^{kg}, la température a dépassé 350°, température supérieure de plus de 150° à celle que peut acquérir la tôle simple directement mouillée. A 250^{kg}, toutes les chevilles étaient fondues, même celles en zinc; de sorte que le tracé de la ligne des températures est tout à fait hypothétique; ce que l'on peut dire à coup sûr, c'est que la face chauffée de la tôle a dépassé la température de 450°; on était sous la menace d'un coup de feu imminent.

C'est une démonstration bien nette du danger grave que peuvent présenter les pailles dans le voisinage du foyer.

Chauffage par radiation. — On a expliqué certains coups de feu par le contact de la tôle avec des maçonneries portées à une température élevée. Pour contrôler la valeur de cette explication, nous avons fait l'expérience ci-après.

Le fourneau a été rempli de menus morceaux de briques réfractaires, de la grosseur d'une noisette, des évents convenables ayant été ménagés au débouché du chalumeau, pour assurer le passage facile du courant de flammes. Ce lit de briques était arasé au niveau des bords du fourneau, de manière

à venir au contact du fond de la chaudière une fois mise en place. Celle-ci ayant été installée et remplie d'eau distillée, on a donné le feu.

Les résultats de cette expérience ont été les suivants :

La vaporisation ayant été de 175^{kg} d'eau froide par heure et par mètre carré, les chevilles nos 7 et 14 (187°) ont été fondues et les chevilles nos 8 et 15 (220°) sont restées intactes.

Ces résultats sont les mêmes que ceux obtenus dans les premières expériences sur l'eau pure. Il ne paraît donc pas que la présence des débris de brique ait influé sur la transmission de la chaleur.

Ainsi les craintes qui se sont élevées au sujet du contact entre la tôle et les maçonneries chauffées ne semblent pas jusqu'ici bien justifiées.

La question serait tout autre, bien entendu, s'il s'agissait, non pas de maçonnerie réfractaire, mais d'un combustible incandescent, pouvant donner des cendres scoraciées. C'est là un cas que nous n'avons pas examiné.

Résumé et conséquences. — On a réuni en un seul Tableau (*fig.* 24) les lignes moyennes de température obtenues dans les diverses expériences qui viennent d'être décrites.

Pour donner une signification précise à ces lignes, il convient de rapprocher ces résultats de ceux auxquels nous sommes arrivés dans la première Partie de ces recherches. Nous avons vu qu'aux allures ordinaires des générateurs fixes de l'industrie, la vaporisation au coup de feu ne dépasse pas 100^{kg} à 140^{kg} par heure et par mètre carré de surface de chauffe, et que, même dans le cas d'allures à outrance, il ne paraît pas que la vaporisation atteigne le chiffre de 250^{kg}.

Or, sur le Tableau (*fig.* 24), on voit qu'avec de l'eau distillée, pour une vaporisation de 100^{kg} a 140^{kg}, l'écart entre la température de l'eau et celle de la face extérieure de la tôle se tient entre 75° et 85°, qu'il atteint à peine 110° pour une vaporisation de 250^{kg}; que pour arriver à des écarts vraiment dangereux, il faudrait atteindre des vaporisations de 400^{kg} ou 500^{kg}.

L'eau rendue visqueuse par de l'amidon ne donne pas des résultats notablement différents de ceux fournis par l'eau pure.

Il en est encore de même lorsque la paroi est tapissée d'un mince enduit de tartre (couche de plâtre de 1^{mm}). Mais pour peu que cette couche acquière un peu d'épaisseur (couche de plâtre de 5^{mm}), le coup de feu devient immédiatement menaçant.

Les doubles épaisseurs de tôle, avec contact très intime (plaque de tôle soudée à l'étain), ne sont pas inquiétantes aux allures ordinaires des chaudières fixes; mais les pailles (plaque de tôle et couche de talc) proprement dites constituent une cause de danger imminent.

On voit tracée, sur la même *fig.* 24, une ligne portant l'indication : *couche d'huile minérale.* Elle se rapporte à une série d'expériences qui ont été faites en vue d'étudier l'action des enduits gras; mais le sujet a une importance particulière, et nous en avons fait l'objet de la troisième Partie du présent Mémoire.

TROISIÈME PARTIE.

Étude spéciale de l'influence des enduits gras.

Tôle graissée à l'huile minérale. — On a cherché à étudier les effets que produirait une couche mince de corps gras interposée entre l'eau et le métal. A cet effet, on a étalé, sur la face intérieure de la tôle, de l'huile minérale fixe (oléonaphte); puis la surface a été essuyée, de manière à maintenir un enduit gras, sans épaisseur sensible, mais suffisant cependant pour empêcher l'adhérence des gouttes d'eau projetées sur la tôle. Enfin la chaudière a été remplie d'eau distillée et mise en expérience à la manière ordinaire.

Les résultats de ces expériences sont intéressants.

En premier lieu, même avec des chauffages relativement modérés, la face extérieure de la tôle prend des températures notablement plus élevées que lorsque l'eau mouille le fond de la chaudière.

Mais si l'on pousse le feu plus activement, on constate des phénomènes particuliers, qui, au premier abord, semblent tout à fait inexplicables.

Dans certains cas, la température va en croissant progressivement, en même temps que l'intensité du feu. Le tracé de la *fig.* 21 (*voir* aussi *fig.* 24) représente cette série d'expériences; la ligne moyenne est notablement plus élevée que dans les essais à l'eau pure; l'écart est d'environ 50° pour une vaporisation de 150^{kg} par heure et par mètre carré; pour 250^{kg} cet écart dépasse 80°, et la température de la face extérieure de la tôle est supérieure de près de 200° à celle de l'eau; il y a là une surchauffe qui peut devenir dangereuse.

Mais, dans d'autres expériences, les résultats ont été tout différents; même après un chauffage modéré (vaporisation de 172^{kg}), on a trouvé tous les alliages complètement fondus; ce qui prouve que la température de la tôle avait dépassé 450° sur la majeure partie de son épaisseur.

Ainsi donc, les effets qui résultent du graissage de la tôle se manifestent de deux manières différentes : tantôt il en résulte une surélévation modérée de la température de la face chauffée; dans d'autres cas, au contraire, sans même que le feu soit très violent, le métal se surchauffe et atteint des températures fort élevées.

Il était intéressant d'examiner de plus près la question. C'est dans ce but qu'ont été faites les expériences que nous allons décrire.

Il s'agit ici, non plus de mesures exactes à relever, mais d'une étude qualitative des phénomènes; il importe de multiplier et de varier les expériences; d'autre part, il est utile de voir ce qui se passe dans la chaudière.

On a donc débarrassé l'appareil de son capuchon et de son enveloppe, et l'on s'est contenté de poser sur la gueule du fourneau de simples casseroles en fer battu et étamé, auxquelles on faisait subir diverses préparations. On réglait approximativement l'intensité du feu au moyen de la graduation des robinets et des données recueillies dans les expériences précédentes.

Enduit provenant de la décomposition d'un corps gras. — On avait remarqué que, dans les expériences donnant une élévation anormale de température, il restait sur le fond de la

chaudière, au commencement de l'expérience, quelques parties noires, que le nettoyage n'avait pas complètement enlevées. Ces dépôts pouvaient provenir de la décomposition partielle des matières grasses; on voulut s'assurer s'ils avaient quelque influence sur les phénomènes.

Une casserole étamée et bien propre fut graissée à l'oléonaphte, puis chauffée sans eau sur un feu doux, de manière à décomposer la matière grasse; le fond se trouva ainsi couvert d'un enduit noirâtre, auquel l'eau n'adhérait pas. La casserole, ainsi préparée, fut disposée sur le fourneau à la place de la chaudière d'expérience, et l'on donna le feu. Au bout d'un instant d'ébullition, on vit le fond devenir rouge; la tache incandescente, limitée d'abord en un point, ne tarda pas à s'étendre et à occuper toute la partie du fond correspondant à l'embouchure du fourneau.

Si la partie grasse de la paroi n'a qu'une étendue limitée, l'incandescence se manifeste tout d'abord dans cette partie; mais elle gagne peu à peu et s'étend tout autour, de proche en proche, à toute la partie exposée à la flamme.

Il est évident que, dans ces expériences, le fond n'était plus mouillé, que l'eau était à cet état que M. Boutigny a désigné sous le nom de *sphéroïdal*. C'est un spectacle fort intéressant que de voir à travers l'eau en ébullition, le fond d'une chaudière porté à la température rouge. Inutile d'ajouter que l'étain était fondu et que le fond de la casserole, en dedans comme en dehors, présentait toutes les apparences d'un magnifique coup de feu.

Cette expérience a été renouvelée plusieurs fois avec des intensités de feu variables : avec un feu correspondant à une vaporisation d'environ 270^{kg} par mètre carré et par heure, la couleur du fond était l'orangé vif; mais l'effet s'est produit même avec un feu beaucoup plus modéré, correspondant à environ 150^{kg}, auquel cas le fond était couleur cerise sombre.

Il résulte de ce qui précède que les phénomènes changent complètement d'aspect, suivant la nature du corps gras appliqué sur la paroi.

Autres expériences. — Une fois en possession du mode

d'expérimentation décrit ci-dessus, nous avons pu étudier sans difficulté les effets produits par différents enduits gras. Voici les résultats de quelques-unes de ces expériences :

Avec des casseroles à fond étamé et propre, quelle que soit l'intensité du feu, l'ébullition est toujours régulière, et l'étain n'est pas fondu sur la face exposée à la flamme.

Il en est de même quand la face mouillée est désétamée, ou décapée, ou oxydée, soit par l'air humide, soit par l'action prolongée d'une mince couche d'ammoniaque ou d'acide chlorhydrique.

Oléonaphte. — L'*oléonaphte* appliqué à froid en enduit mince sur un fond étamé, décapé ou oxydé, ne donne également qu'une ébullition régulière.

L'oléonaphte en couche décomposée préalablement par la chaleur donne, au contraire, le coup de feu avec une extrême facilité, ainsi qu'on l'a vu plus haut.

Si l'on pose sur le fond de la casserole un bout de chiffon graissé à l'oléonaphte et maintenu par un poids, on obtient facilement le coup de feu.

Si, dans une casserole dont le fond est oxydé, on fait bouillir une dissolution de sel (chlorure de calcium, de magnésium, etc.), de manière à tapisser les parois d'une mince couche incrustante, puis que l'on enduise le fond d'oléonaphte déposé à froid, le coup de feu se produit, même avec un feu modéré.

Huile de lin. — L'*huile de lin* produit le coup de feu avec la plus extrême facilité (vaporisation de 100^{kg} à 120^{kg}). Il suffit, pour obtenir le résultat, de toucher le fond de la casserole avec le doigt légèrement graissé à l'huile de lin.

L'essence de *térébenthine*, le *vernis à l'essence* ne donnent pas de coup de feu. Mais si l'on mélange à l'essence une proportion même faible ($\frac{1}{10}$) d'huile de lin, on a un coup de feu.

Mastic de minium. — Le *mastic de minium* produit le coup de feu avec une extrême facilité. Si l'on a écrasé, sur le fond d'une casserole, une boulette de ce mastic, ou si l'on y a promené le doigt enduit de mastic, un feu modéré suffit pour faire rougir le métal.

Huile de colza. — Un enduit d'*huile de colza* produit le coup de feu, mais moins facilement que l'huile de lin.

Valvoline. — La *valvoline* déposée à froid ne donne le coup de feu que lorsque le jet de chalumeau est extrêmement intense (vaporisation d'environ 350^{kg}).

Axonge. — L'*axonge* donne assez facilement le coup de feu, même lorsqu'elle est mélangée à une quantité notable de plombagine; si la plombagine est en grand excès, on ne peut plus faire rougir le métal sous l'eau.

Goudron. — Le *goudron* appliqué sur une surface étamée ou décapée, se détache quand l'eau entre en ébullition. Sur une surface oxydée, il reste en partie adhérent, mais ne donne pas de coup de feu.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Les recherches dont il vient d'être rendu compte sont sans doute bien incomplètes. Telles qu'elles sont, elles peuvent fournir quelques aperçus sur les conditions dans lesquelles se produisent les coups de feu et sur les circonstances qui accompagnent la transmission de la chaleur à travers les parois des chaudières. Sur certains points, elles confirment les idées reçues, en les précisant dans une certaine mesure; sur d'autres points, elles semblent apporter des indications nouvelles.

Nous croyons pouvoir énoncer les conclusions ci-après, qui se déduisent, soit des discussions précédentes de nos expériences, soit de l'examen du résumé graphique (*fig.* 24):

1° Une tôle saine et continue, bien mouillée par l'eau de la chaudière, même exposée à un feu violent, ne prend en aucun de ses points une température assez élevée pour que sa solidité soit sensiblement altérée.

2° La viscosité de l'eau, même lorsqu'elle est portée à un degré assez élevé, n'empêche pas la tôle d'être bien mouillée et ne diminue pas notablement le pouvoir réfrigérant du liquide.

3° La transmission de la chaleur est plus ou moins gênée par la doublure des tôles; une rivure, même bien faite, ne doit pas être exposée à un feu trop violent.

4° Une paille dans l'épaisseur d'une tôle ou un défaut de contact intime entre les deux tôles d'une clouure, dans les parties du générateur exposées à un feu un peu intense, constituent une cause grave d'accident.

5° Le contact d'une maçonnerie réfractaire, même portée à une température élevée, ne présente pas de danger, si la tôle est continue et bien mouillée.

6° Tout enduit gras déposé sur la paroi interne de la tôle gêne fortement la transmission de la chaleur.

7° Lorsque l'enduit gras est constitué par un corps susceptible de se décomposer par la chaleur, le coup de feu est particulièrement à redouter. Les corps gras organiques, huiles de lin, de colza, etc., semblent, à cet égard, beaucoup plus dangereux que les corps gras minéraux.

Enfin, comme conséquence ultime, on peut déduire de ces expériences qu'une chaudière bien établie, bien tenue, propre et convenablement pleine ne court pas le risque d'être brûlée, même par un feu vif; que, d'autre part, lorsque le feu est ardent, il est nécessaire de prendre des précautions sévères, et notamment d'éloigner avec soin tout ce qui pourrait gêner la transmission de la chaleur soit dans l'épaisseur du métal, soit entre le métal et l'eau.

En terminant cette étude, je tiens à exprimer mes remerciements à mes collaborateurs, MM. Alfred Tresca et Gauthier, préparateurs du Cours de Mécanique appliquée au Conservatoire des Arts et Métiers. Dans ces longues recherches, ils ont apporté l'un et l'autre une attention et un dévouement dignes des plus grands éloges.

Paris, le 28 Décembre 1888.

TABLE DES MATIÈRES

DU MÉMOIRE DE M. J. HIRSCH.

Objet et division.

Première Partie.

RECHERCHES SUR LA VAPORISATION DANS LES CHAUDIÈRES
AU DROIT DU COUP DE FEU.

Deuxième Partie.

EXPÉRIENCES SUR LA TRANSMISSION DE LA CHALEUR A TRAVERS
LE MÉTAL ET DU MÉTAL A L'EAU.

Troisième Partie.

ÉTUDE SPÉCIALE DE L'INFLUENCE DES ENDUITS GRAS.

Résumé et conclusions.



MACHINES THERMIQUES

AUTRES QUE LES MACHINES A VAPEUR D'EAU,

Par M. J. HIRSCH.

Exposé et division. — L'étude des moteurs thermiques est une des plus importantes et peut-être la plus difficile de celles qui sont soumises aux délibérations du Congrès ([1]). Le Comité d'organisation m'a fait l'honneur de me proposer de traiter cette question; il aurait pu trouver, sans chercher beaucoup, soit en dehors de lui, soit parmi ses membres, des ingénieurs infiniment plus compétents et mieux préparés sur la matière. Toutefois, je n'ai pas cru qu'il me fût possible de décliner cette tâche, si ardue qu'elle puisse être.

D'ailleurs il n'est pas question ici d'une étude complète et détaillée; dans l'esprit du Comité, il s'agit simplement d'établir une sorte de programme préparatoire, un canevas simple et sommaire, sur lequel pourront se développer librement les discussions au cours des séances du Congrès.

Je me contenterai donc de résumer rapidement l'état actuel de la question des moteurs thermiques, et d'indiquer quelques-uns des points qui restent encore obscurs et sur lesquels des recherches nouvelles sont à désirer. Enfin je chercherai à éta-

([1]) La présente étude a été rédigée sur la demande du Comité constitué par arrêté du Président du Conseil, ministre du Commerce, de l'Industrie et des Colonies, en vue de l'organisation d'un *Congrès international de Mécanique appliquée,* dont ne saurait se désintéresser le Conservatoire des Arts et Métiers, et qui, du reste, doit tenir dans cet établissement ses séances du 16 au 21 septembre 1889.

blir un court programme des sujets qui semblent pouvoir être utilement discutés.

Comparaison avec la machine à vapeur. — Lorsqu'on étudie les effets dynamiques obtenus par l'action de la chaleur, il semble impossible de ne pas parler, ne fût-ce qu'à titre de comparaison, des moteurs thermiques qui sont, jusqu'à ce jour, les machines industrielles par excellence, des moteurs qui empruntent leur puissance à la chaleur par l'intermédiaire de la vapeur d'eau. Cette comparaison entre les machines à vapeur ordinaires et les autres machines thermiques est venue naturellement à l'esprit de tous ceux qui se sont occupés de la transformation de la chaleur en travail : elle a été présentée sous bien des points de vue différents.

En se plaçant au point de vue purement abstrait, on a pris, comme base de comparaison, le *rendement théorique maximum*. On arrive ainsi à un résultat remarquable : étant donnés divers moteurs, utilisant comme intermédiaires différents fluides, la vapeur d'eau, une vapeur quelconque, un gaz ou même un corps quelconque, entre les mêmes limites de température, le rendement théorique maximum est le même, quel que soit le corps intermédiaire.

Dans cet énoncé, on entend par *rendement théorique maximum* la fraction de la chaleur dépensée qui disparaît sous forme de travail. Ce rendement est obtenu si l'on suppose que toute perte de travail et toute chute de température sans effet utile aient pu être évitées.

Ce théorème se déduit directement des principes fondamentaux de la Thermodynamique et présente le même degré de certitude que ces principes, lesquels sont généralement admis comme incontestables. Toutefois si, en lui-même, il prête peu à la critique, il en est tout autrement des conséquences que l'on a cherché parfois à en déduire.

On a dit, par exemple : du moment que le rendement est le même, quel que soit le fluide intermédiaire, il importe peu que ce fluide soit une vapeur ou un gaz quelconque; or, la vapeur d'eau est, pratiquement, le fluide le plus commode à manier; donc c'est celui qui permettra de se rapprocher le plus des

conditions théoriques; en conséquence, la machine à vapeur d'eau présente une telle supériorité qu'il est inutile de poursuivre l'étude des autres machines thermiques.

Cette conclusion décourageante ne saurait être acceptée sans réserve; nous n'insisterons pas pour le moment sur le vague et le défaut de précision d'un pareil raisonnement, longtemps accepté comme péremptoire; il semble plus utile de montrer comment ce verdict exclusif prononcé en faveur de la machine à vapeur a été cassé par les faits; nous prendrons nos exemples dans la pratique la plus courante.

Comparons, au point de vue du rendement thermique, une machine à vapeur ordinaire avec une machine à gaz ordinaire.

Une excellente machine à vapeur de l'industrie consomme, par heure et par cheval effectif, une quantité de houille qui ne descend guère au-dessous d'un kilogramme; or, un kilogramme de bonne houille à vapeur représente une puissance calorifique de.. 8500^{cal}.

Une machine à gaz ordinaire consomme, par heure et par cheval effectif, environ un mètre cube de gaz, dont la combustion développe en moyenne........ 5300^{cal}.

Ainsi, pour produire une même quantité de travail (un cheval-heure), la machine à gaz consomme $\frac{1}{3}$ de chaleur en moins que la machine à vapeur; le rendement thermique de la première est de plus de 50 pour 100 supérieur à celui de la seconde.

Il ne sera pas hors de propos d'insister sur les chiffres qui ont servi de base à cette comparaison. Une consommation d'un kilogramme de houille par heure et par cheval effectif implique une machine à vapeur à condensation, puissante, très parfaite, très soigneusement conduite et entretenue. Il est d'ailleurs à remarquer que la machine à vapeur a aujourd'hui une existence industrielle deux fois séculaire; que les ingénieurs les plus éminents, les chercheurs les plus intrépides n'ont cessé de s'attacher à l'améliorer; qu'elle est arrivée à un degré de perfection qui ne laisse plus beaucoup de place à des progrès ultérieurs.

La machine à gaz, au contraire, est née d'hier; ses applications

industrielles sont toutes modernes et infiniment moins étendues que celles de la machine à vapeur; la théorie des moteurs à gaz est à peine ébauchée; et, de fait, l'indicateur de Watt, appliqué sur ces moteurs, montre avec toute évidence que leur fonctionnement est encore extrêmement éloigné des conditions théoriques assurant un rendement élevé. Et néanmoins, avec ces moteurs, le chiffre d'un mètre cube de gaz par cheval-heure est réalisé couramment, même pour des puissances fort modérées.

Ainsi donc, au point de vue exclusif du rendement thermique, la machine à gaz, si imparfaite qu'elle soit encore, l'emporte haut la main sur les machines à vapeur les plus perfectionnées. C'est là un fait d'un grand intérêt, qu'il était important de rappeler dès le début de cette étude.

Cette question du rendement est sans doute loin d'être la seule à examiner; d'autres considérations doivent intervenir, qui sont parfois d'une importance plus grande encore. Néanmoins, pour ne pas interrompre cet exposé, nous allons l'étudier plus en détail, et rechercher comment il peut se faire que le rendement d'un moteur thermique quelconque, d'une machine à gaz par exemple, puisse être beaucoup plus élevé que celui des meilleures machines à vapeur.

Décompte de la chaleur consommée par une machine à vapeur. — A cet effet, nous analyserons le fonctionnement d'une machine à vapeur, considérée comme machine thermique, et nous étudierons comment se répartit la chaleur qui lui est communiquée.

Prenons, comme plus haut, une très bonne machine à vapeur à condensation, consommant par heure et par cheval effectif, 1^{kg} de bonne houille pour vapeur.

Un cheval-vapeur travaillant pendant une heure représente une quantité de travail de

$75 \times 60 \times 60 = \ldots\ldots\ldots$ 270000^{kgm}.

1^{kg} de bonne houille correspond, comme pouvoir calorifique, à............. 8500^{cal}.

Si toute cette chaleur était transformée en

puissance mécanique utilisable à raison de 425^{kgm} par calorie, le travail correspondant serait de

$8500 \times 425 =$ .... $3\,612\,500^{kgm}$.

Le rendement calorifique de la machine à vapeur considérée n'est donc que de

$$\frac{270\,000}{3\,612\,500}, \text{ soit } 7\tfrac{1}{2} \text{ pour } 100 \text{ environ.}$$

Ainsi, sur 100^{cal} confiées à une pareille machine, elle n'en rend, sous forme de travail, que $7\frac{1}{2}$; le reste, soit $92^{cal}\frac{1}{2}$ sont perdues sous diverses formes.

Il ne sera pas sans intérêt d'examiner la façon dont s'opèrent ces énormes déperditions, d'établir le bilan de cette machine si perfectionnée et cependant si prodigue.

Un moteur à vapeur se compose d'une chaudière, qui produit la vapeur, d'un récepteur, constitué lui-même par le cylindre et le piston, et d'une transmission allant du piston à la poulie ou à la roue de commande. Chacun de ces éléments intermédiaires est le siège d'une perte de travail à l'état calorifique ou à l'état dynamique; ce sont ces pertes que nous allons analyser :

1° Sur 100^{cal} virtuellement contenues dans le combustible consommé, une partie seulement pénètre dans la chaudière pour y faire de la vapeur, le reste se disperse sous forme de fumées chaudes, de matières mal brûlées, par radiation, par conductibilité, etc.; le rendement industriel des bonnes chaudières ne dépasse guère 60 pour 100; la quantité de chaleur parvenant à la machine sera donc au plus de $0,60 \times 100 =$ .... 60^{cal}.

2° Le récepteur reçoit la vapeur de la chaudière à une certaine température; elle transforme en travail une partie de cette chaleur; le reste s'en va au condenseur. Supposons d'abord notre machine absolument parfaite; elle n'utilisera néanmoins qu'une fraction de la chaleur qui lui est communi-

quée, et la théorie démontre que cette fraction, appelée souvent le *coefficient économique,* dépend exclusivement des températures de la chaudière et du condenseur; plus l'écart entre ces températures est faible, plus le coefficient économique est petit. Dans le cas pris comme exemple, on peut compter le coefficient économique pour .... 0,27 (1).

Sur les 60^{cal} délivrées à la machine, la fraction qu'un récepteur parfait transformerait en travail serait de

$0,27 \times 60 =$ .... $16^{cal},2$.

3° Mais notre récepteur est loin d'être parfait : la détente et la compression sont incomplètes, il y a des laminages de vapeur, des pertes de chaleur, des condensations, etc.; de là, la nécessité d'introduire un nouveau coefficient, réduisant le travail du récepteur; on peut évaluer ce coefficient à 0,60; le récepteur ne rendra que 0,60 du travail théorique, ce qui correspond à

$0,60 \times 16,2 =$ .... $9^{cal},72$.

4° Enfin il y a les frottements et les résistances passives, nécessitant l'introduction d'un nouveau coefficient, que l'on appelle souvent *coefficient de rendement organique,* et qu'on peut porter à 0,77; il nous reste, en définitive

$9,72 \times 0,77 =$ .... $7^{cal},50$.

---

(1) Le coefficient économique a pour valeur

$$\frac{t_1 - t_0}{273 + t_1}$$

t_1 température à la chaudière; t_0, température au condenseur.

Au cas actuel, on peut admettre :

une chaudière timbrée à 5^{kg}, soit $t_1 = 158°$,

un condenseur à la température $t_0 = 40°$.

Il vient ainsi, pour le coefficient économique,

$$\frac{158 - 40}{273 + 158} = 0,27.$$

que nous recueillerons sur l'arbre de couche, sous la forme de travail utilisable.

Pour ne constituer qu'une approximation évidemment grossière, les chiffres ci-dessus ont cependant une utilité, en ce qu'ils donnent une idée de l'ordre de grandeur des quantités qu'ils représentent. En les rapprochant les uns des autres, nous obtenons le Tableau ci-après :

	Coefficients partiels.	Calories restant.	Calories perdues.
Chaleur du combustible	1,00	100^{cal}	0^{cal}
1° Passage dans la chaudière	0,60	60	40,00
2° Coefficient économique	0,27	16,2	43,80
3° Imperfection du cycle	0,60	9,72	6,48
4° Rendement organique	0,77	7,50	2,22
Rendement en travail	0,075	7,50	92,50

Ici, comme plus haut, le travail utilisé ne représente que $7\frac{1}{2}$ pour 100 de la chaleur contenue dans le combustible.

La faible valeur de cette utilisation s'explique par deux raisons principales.

Transmission complexe. — La première raison est le nombre de transformations que la chaleur doit subir avant de ressortir à l'état de travail : il faut qu'elle se dégage du combustible, qu'elle pénètre dans la chaudière pour former de la vapeur, que cette vapeur se rende au cylindre et agisse sur le piston; le travail ainsi engendré est recueilli sur l'arbre de couche à l'aide d'une transmission compliquée. Chacune de ces transformations comporte son rendement particulier. Ces nombreux coefficients, malgré la perfection relative de chacun des organes, sont tous nécessairement plus petits que l'unité; leur produit, qui est le rendement final, est donc forcément assez faible. L'énergie se disperse et s'épuise en passant de l'un à l'autre des anneaux de cette chaîne longue et compliquée.

Du coefficient économique. — En second lieu, on remarquera en particulier la faible valeur de l'un de ces facteurs du rendement final : il s'agit du *coefficient économique*, évalué ci-dessus à 0,27. Ce coefficient est petit parce que les tempéra-

tures entre lesquelles évolue la machine à vapeur sont peu écartées l'une de l'autre. Entre la température de la chaudière (158° dans l'exemple ci-dessus) et celle du condenseur (40°), l'écart n'est que de 118°.

Serait-il possible d'augmenter cet écart?

Du côté du condenseur, il y a peu de chose à gagner.

Du côté de la chaudière, l'emploi des hautes pressions permet de gagner quelques degrés; mais on est vite arrêté dans cette direction, à cause de la rapidité avec laquelle s'élèvent les tensions de la vapeur d'eau saturée, dès qu'on dépasse un peu les températures usuelles. Au point de vue de la Thermodynamique, l'usage de la triple et de la quadruple expansion, permettant l'emploi de pressions initiales plus élevées, correspond à une amélioration importante du coefficient économique. Toutefois, l'amélioration ainsi obtenue ne saurait être indéfinie; l'application de températures un peu fortes à la vapeur saturée se heurte contre la loi physique des tensions de ce fluide, et il n'est pas à prévoir que cet obstacle puisse être de sitôt surmonté.

En réalité, la principale chute de température se produit entre le foyer et la chaudière; elle se mesure par 1000° ou 1200°, et, au point de vue du coefficient économique, elle reste complètement inutilisée. Telle est la cause capitale du faible rendement thermique de nos machines à vapeur modernes.

Le Tableau ci-dessus pourrait encore donner matière à de nombreuses et intéressantes observations, mais il est temps de quitter la machine à vapeur et d'entrer dans l'étude des autres moteurs thermiques.

Décompte de la chaleur dans les moteurs thermiques en général. — L'emploi d'un fluide autre que la vapeur d'eau permet-il d'échapper aux deux inconvénients graves signalés ci-dessus?

Est-il possible, en se servant d'un autre intermédiaire, d'obtenir une transformation plus simple, plus directe et, par suite, plus économique de la chaleur en travail?

Est-il possible de faire agir le fluide à des températures élevées, donnant un meilleur coefficient économique?

A ces deux questions la pratique a répondu d'une manière nette et affirmative : les deux problèmes sont résolus dans le fonctionnement des machines à gaz.

Ainsi, en premier lieu, dans ces machines, le fluide moteur reçoit directement l'action de la chaleur ; il agit directement sur le piston ; la chaleur n'a plus à passer du foyer au métal, du métal à l'eau ; plus de chaudière, plus de tuyauterie compliquée ; la chaîne des transformations se trouve singulièrement raccourcie et simplifiée.

En second lieu, le fluide agit à la température même de combustion ; l'énorme chute de température existant entre le foyer et la chaudière se trouve dès lors supprimée. De ce fait résulte une élévation considérable du coefficient économique ; de 0,25 ou 0,30, il passe à 0,70 ou 0,80. C'est là, et là seulement, sans nul doute, que se trouve le secret du rendement thermique élevé de ces sortes de moteurs, car, sur d'autres points, ils sont encore bien inférieurs aux machines à vapeur les plus médiocres.

Les considérations qui précèdent peuvent se résumer en un mot : la vapeur d'eau saturée possède des propriétés physiques qui ne permettent pas, dans les moteurs tels qu'ils sont construits de nos jours, d'obtenir des rendements thermiques élevés ; rien ne semble s'opposer à ce que d'autres fluides, doués de propriétés physiques différentes, permettent de réaliser ces rendements élevés.

Du rendement thermique comme base de comparaison. — Cette question du rendement thermique, de l'économie dans l'emploi de la chaleur, a, par elle-même, une importance tellement grande qu'elle a plus d'une fois fait oublier les autres conditions auxquelles un moteur industriel doit satisfaire, et qu'il n'est nullement permis de négliger. De là de nombreux mécomptes, de graves désaccords entre les indications d'une théorie incomplète et les résultats des applications pratiques.

Une première considération s'impose tout d'abord : quand on parle d'économie, en matière industrielle, il ne s'agit pas d'économie de chaleur, mais d'économie d'argent. Or la dépense à faire pour dégager de la chaleur dépend, non seule-

ment du nombre de calories obtenues, mais encore du prix de revient de chacune de ces calories. Ce prix de revient est lui-même la résultante d'un grand nombre d'éléments, parmi lesquels figure, en première ligne, le prix du combustible : une calorie de houille ne coûte pas le même prix qu'une calorie de gaz. Il faut aussi tenir compte des procédés mis en œuvre pour dégager la chaleur, des frais de main-d'œuvre, de l'entretien, des intérêts et de l'amortissement applicables aux appareils, aux bâtiments qui les abritent et au terrain qui les supporte, etc., etc. Il est donc impossible d'affirmer *à priori* qu'un moteur à rendement thermique élevé soit nécessairement économique.

Considérations diverses. — L'économie pratique elle-même est loin d'être la seule question à considérer dans la production du travail ; il y en a d'autres, d'importance égale et souvent supérieure. Avant tout, un moteur thermique doit faire sa besogne, son *duty*, comme disent les Anglais. Si cette besogne est faite régulièrement, consciencieusement, pourrait-on dire, c'est le principal ; si, par surcroît, elle est faite économiquement, c'est évidemment préférable ; mais, dans bien des cas, l'extrême économie dans la production du travail mécanique n'est qu'un avantage secondaire ; elle ne prend le premier rang que dans certaines applications tout à fait spéciales.

Les qualités que l'industrie exige d'un moteur dépendent, en premier lieu, de l'emploi auquel il est destiné ; tel moteur qui donnerait toute satisfaction dans une application déterminée serait, dans un autre cas, complètement inutilisable.

A ce point de vue, il convient, dans une étude d'ensemble, de s'en tenir à la discussion des propriétés d'un ordre assez général. C'est ce que nous allons essayer de faire.

La *régularité d'allure* est souvent une nécessité de premier ordre, particulièrement dans les applications à l'éclairage électrique ; comme régularité de marche, les bonnes machines à vapeur laissent peu à désirer ; on n'en saurait toujours dire autant des moteurs à gaz, qui ont, dans certains cas, donné lieu, de ce fait, à de sérieux mécomptes.

La question de l'*espace occupé* est souvent de grande importance ; la machine à vapeur, considérée en elle-même, est arrivée aujourd'hui à un degré de compacité qu'il semble difficile de surpasser ; mais la chaudière qui l'accompagne nécessairement est extrêmement encombrante ; de sorte qu'à ce point de vue les autres moteurs thermiques peuvent soutenir facilement la comparaison.

Des remarques analogues trouvent leur place en ce qui concerne la *légèreté*, qualité essentielle dans tous les cas où le moteur se déplace en même temps que le point d'application de l'effort qu'il exerce ; il en est ainsi pour les machines de navigation, de chemins de fer, de tramways, et surtout pour l'aérostation ; la lourde chaudière devient alors un *impedimentum* fort gênant, qui s'aggrave encore lorsqu'il s'agit d'emporter un certain approvisionnement de charbon et d'eau. Néanmoins, jusqu'ici, surtout pour les grandes puissances, la machine à vapeur semble encore l'emporter, comme légèreté, sur les autres moteurs thermiques, grâce aux perfectionnements remarquables qui ont été apportés à ses divers organismes. Mais il est difficile d'affirmer que cette supériorité se maintiendra longtemps.

Certaines machines thermiques n'exigent pas d'eau pour leur fonctionnement ; c'est là une qualité qui peut être précieuse dans bien des circonstances, notamment en vue des usages agricoles.

La machine à vapeur ne peut fonctionner qu'une fois la chaudière en pression ; la montée en pression exige un temps plus ou moins long ; c'est, dans certaines applications, un inconvénient de premier ordre. La plupart des autres moteurs thermiques échappent à cette sujétion. Une machine à gaz, par exemple, se met en marche en un instant ; elle est toujours prête à fonctionner et ne consomme qu'autant qu'elle travaille.

Il est une question capitale, c'est celle de la *sécurité*. Une chaudière à vapeur est un réservoir de puissance dynamique, qui n'est pas sans offrir de sérieux dangers ; aussi les pouvoirs publics ont-ils dû intervenir et veiller à ce que l'établissement de ces magasins d'explosion compromît le moins possible la

sécurité publique. De là des difficultés, même des impossibilités absolues pour beaucoup d'installations. Les autres moteurs thermiques ne présentent pas ces dangers, et leur emploi ne saurait, en aucune façon, inquiéter le voisinage. Des diverses causes qui, dans les dernières années, ont contribué à propager l'industrie des machines à gaz et à air chaud, la considération de la sécurité a peut-être été une des plus efficaces.

Classification des moteurs thermiques. — Nous ne pousserons pas plus loin cette comparaison. Il est un fait certain, c'est que les moteurs thermiques prennent chaque jour une place plus importante dans l'industrie. Il convient d'examiner ces moteurs en eux-mêmes, au moins dans leurs lignes générales.

L'application de la chaleur à la production du travail ayant donné naissance à un grand nombre de systèmes variés, pour mettre un peu d'ordre dans notre étude, il est nécessaire de classer ces machines. Nous laisserons de côté, dans cette classification, les systèmes qui n'ont existé qu'à l'état de projets ou d'ébauches.

Les machines thermiques qui ont reçu de sérieuses applications peuvent se diviser en deux grandes catégories, suivant que le fluide agissant est une vapeur ou un gaz permanent.

Sous la dénomination de *machines à vapeur*, on peut comprendre les machines dans lesquelles le fluide prend successivement l'état gazeux et l'état liquide.

Comme gaz permanents, on n'a guère utilisé jusqu'ici, dans les machines motrices, que l'air atmosphérique successivement réchauffé et refroidi. Nos machines à gaz permanent s'appelleront donc *machines à air chaud*.

Enfin, dans certains moteurs, on a essayé des combinaisons variées; de là une troisième catégorie de machines, que nous désignerons sous le nom de *machines mixtes et diverses*.

En tenant compte des diverses variétés qui peuvent se présenter, on est conduit à établir comme il suit la classification des moteurs thermiques autres que les moteurs à vapeur d'eau saturée :

1° *Machines à vapeur.*

Vapeur d'eau surchauffée.
Vapeurs diverses.

2° *Machines à air chaud,* sans régénérateur de chaleur ou avec régénérateur de chaleur.

Chauffage par transmission.

Chauffage intérieur
- par combustion simple,
- par explosion
  - sans compression,
  - sans compression.

3° *Machines mixtes et diverses.*

Nous allons passer en revue les moteurs appartenant à ces diverses classes; nous rappellerons au fur et à mesure les connaissances acquises, les résultats constatés et les obscurités à éclaircir.

Machines à vapeur d'eau surchauffée. — Quoique la question de la surchauffe de la vapeur d'eau rentre, à certains points de vue, dans l'étude des machines à vapeur ordinaires, il ne paraîtra pas néanmoins hors de propos d'en dire ici quelques mots. La vapeur d'eau surchauffée est, en effet, un fluide dont les propriétés diffèrent notablement de celles de la vapeur d'eau ordinaire.

A côté des propriétés précieuses qui l'ont fait adopter d'une manière générale dans les machines thermiques, la vapeur d'eau saturée présente un inconvénient sérieux : sa pression s'élève très vite avec sa température. De là, comme on l'a vu, une conséquence grave : le rendement thermique des machines à vapeur d'eau saturée est nécessairement faible.

On peut théoriquement, et on l'a bien souvent essayé pratiquement, tourner cet inconvénient : il suffit pour cela, une fois la vapeur produite, d'y ajouter de la chaleur sans augmenter sa pression ; à cet effet, on fait passer la vapeur saturée dans un tuyau ou serpentin plongé, soit dans les fumées,

soit dans les flammes du foyer : c'est un chauffage par transmission ; le fluide ainsi fabriqué est envoyé dans un récepteur à piston.

On peut, dans l'emploi de la vapeur d'eau surchauffée, distinguer deux cas : ou bien la surchauffe est modérée, ou bien elle est très élevée.

La vapeur d'eau très surchauffée n'a pas jusqu'ici réussi dans les machines : elle brûle les lubrifiants et fait gripper les surfaces frottantes ; elle présente, dès lors, une partie des inconvénients qui ont retardé pendant si longtemps l'essor des machines à air chaud ; le succès de la vapeur surchauffée semble donc dépendre, avant tout, de la découverte d'un lubrifiant qui ne se laisse pas attaquer par ce fluide.

Lorsqu'il s'agit d'une surchauffe modérée, la question est tout autre ; ainsi qu'il résulte des études de M. G.-A. Hirn, il se produit une condensation partielle à l'entrée dans le cylindre, de sorte que, sauf certains avantages accessoires au point de vue du rendement, on rentre ici dans le cas de la vapeur saturée. L'obstacle qui a empêché jusqu'ici de se répandre ce mode d'emploi de la vapeur d'eau, c'est la difficulté de régler le degré de surchauffe eu égard aux variations de vitesse du courant de vapeur dans le surchauffeur et aux variations de vitesse et de température des flammes ou des fumées ; il en résulte que la surchauffe est tantôt excessive, et alors la machine grippe, tantôt insuffisante, c'est-à-dire sans effet.

Les moyens essayés jusqu'ici pour parer à cet inconvénient se sont montrés impuissants. L'un des plus ingénieux consiste à fabriquer le fluide par un mélange dosé de vapeur saturée et de vapeur très surchauffée ; la proportion de vapeur surchauffée se règle, à l'aide d'appareils automatiques, d'après la température du mélange obtenu.

Vapeurs diverses. — Depuis les tentatives si remarquables, si persévérantes de du Tremblay, l'emploi des vapeurs autres que la vapeur d'eau ne semble plus avoir été essayé avec quelque suite. En dehors des difficultés inhérentes au problème posé par l'éminent ingénieur, l'échec peut être attribué, pour une large part, à des circonstances étrangères au système

en lui-même; les progrès si rapidement réalisés dans la construction des machines marines, la commande directe de l'hélice, la condensation par surface, l'usage de hautes pressions, la double et triple expansion, ont permis d'atteindre des résultats que du Tremblay n'avait jamais pu obtenir, et ont frappé ses recherches de stérilité industrielle.

Du Tremblay avait essayé les vapeurs de corps très volatils : l'éther, le chloroforme. D'autres, après lui, ont suivi la même voie, et ont proposé l'ammoniaque, l'acide sulfureux, le sulfure de carbone, même l'acide carbonique.

Ces recherches n'ont pas jusqu'ici amené des résultats pratiques. Toutefois, il semble que le dernier mot soit loin d'être dit.

Ce qui limite les services que peut rendre la vapeur d'eau saturée, ce sont les relations qui existent entre sa pression et sa température; aux températures élevées correspondent des pressions excessives, aux températures modérées des pressions insuffisantes. De là, un double inconvénient : le rendement thermique est faible et les dimensions des appareils deviennent très considérables.

En disposant, à la suite de la machine à vapeur ordinaire, une machine actionnée par la vapeur d'un liquide très volatil, du Tremblay supprimait le second inconvénient; sa machine se rapprochait, par certains points, de la machine Compound moderne; mais elle était, théoriquement parlant, bien plus satisfaisante en ce qui concerne les dimensions du cylindre de détente.

D'autre part, il paraît peu probable que l'on puisse trouver réunies, dans un fluide unique, les propriétés physiques nécessaires pour qu'il puisse travailler, sous des pressions modérées, successivement à haute et à basse température. La combinaison de deux vapeurs est donc une solution qui présente quelque chance de succès et qui mérite d'être étudiée.

Il va de soi qu'à côté de la question des tensions, d'autres questions d'ordre pratique doivent intervenir. La solution de ces problèmes pratiques n'a été donnée qu'imparfaitement par du Tremblay; c'est là une autre cause des échecs qu'il a éprouvés. Quoi qu'il en soit, il semble hors de doute qu'en

vue de la production du travail, des études bien dirigées relatives aux propriétés physiques des vapeurs peuvent conduire à des résultats d'un véritable intérêt.

Tout récemment, on a proposé, pour de petites forces, de faire usage de vapeur de pétrole.

Machines à air chaud. — Arrivons aux machines à air chaud.

Considéré au point de vue purement théorique du rendement thermique maximum, l'air ne diffère en rien de n'importe quel autre fluide. Entre deux mêmes températures, le cycle de rendement maximum, ou *cycle de Carnot,* conduit au même coefficient économique, quel que soit le fluide intermédiaire. Mais, lorsqu'on arrive à l'application, il en est tout autrement. La réalisation pratique du cycle de Carnot à l'aide d'un gaz permanent exigerait des cylindres de dimensions absolument inadmissibles, ou bien des pressions exorbitantes, quand bien même on se contenterait d'une figuration grossière du cycle. A ce point de vue, l'air est absolument inférieur à la vapeur.

Les très fortes pressions n'ont pas été essayées dans les machines à air chaud, à cause de la difficulté de tenir les joints. Quant aux grands cylindres, ils coûtent cher et entraînent des résistances passives énormes. En fait, les machines à air chaud en usage ont, toutes choses égales, des dimensions bien plus grandes que les machines à vapeur de même puissance, et cependant leur cycle s'éloigne beaucoup de celui de Carnot.

Nous venons de parler des joints : c'est là un des points qui dominent toute la question. S'il est déjà difficile de tenir un joint étanche contre de l'air froid à pression modérée, cette difficulté devient presque insurmontable lorsqu'il s'agit d'air chaud à haute pression ; on a essayé, jusqu'ici, de la tourner plutôt que de la résoudre, et les tentatives n'ont pas toujours été heureuses.

Réduire les dimensions et faire des joints étanches, voilà les deux problèmes qui se posent d'eux-mêmes, toutes les fois qu'on étudie un moteur thermique.

Que si, en outre, on cherche à obtenir un rendement élevé, c'est-à-dire à faire usage de hautes températures, alors la question des joints se complique d'une façon presque décourageante.

Des régénérateurs de chaleur. — Le cycle de Carnot procure le rendement thermique maximum; on a cru pendant longtemps qu'il était le seul qui jouît de cette propriété; de là cette idée qu'une machine à air chaud donnant un rendement acceptable devait nécessairement avoir des dimensions démesurées.

Une étude plus attentive a montré qu'à côté du cycle de Carnot, d'autres modes de fonctionnement permettent de réaliser le rendement maximum, grâce à l'emploi de ces appareils ingénieux que l'on a appelés *récupérateurs, régénérateurs de chaleur, tamis respiratoires,* etc.

Sur une machine à air chaud munie de ces appareils, les diagrammes d'indicateur peuvent se rapprocher de ceux fournis par une machine à vapeur. Comme conséquence, les régénérateurs permettent, tout en conservant un rendement élevé, de diminuer dans une forte proportion les dimensions des cylindres.

Les régénérateurs, proposés par Stirling au commencement de ce siècle, appliqués depuis lors par Ericsson, Franchot et d'autres encore, ont disparu à peu près complètement, malgré tous leurs avantages théoriques, et ne se retrouvent plus guère aujourd'hui que dans quelques machines de faible puissance. La raison de cet insuccès semble être d'ordre tout à fait pratique. On n'a pas su, jusqu'à présent, construire un régénérateur satisfaisant à toutes les conditions exigées; un appareil de cette nature devrait être fait d'une matière qui résistât sans altération aux températures élevées et aux courants violents de gaz; il devrait offrir au fluide qui le parcourt de très grandes surfaces de contact, en même temps que de larges sections de passage, et cependant n'occuper qu'un volume très restreint, de manière à ne pas augmenter démesurément les espaces nuisibles. La réussite d'une pareille construction ferait sans doute faire un grand pas à la question des machines à air chaud.

Chauffage extérieur. — Dans un grand nombre de systèmes de machines à air, le fluide, enfermé dans un récipient métallique, est chauffé au moyen d'un foyer extérieur, par transmission à travers les parois du récipient.

Ce mode de chauffage est fort commode, la pureté du gaz n'est pas notablement altérée; le chauffage se fait sans difficulté, et le combustible peut être de qualité ordinaire et à bas prix.

Mais, au point de vue de l'emploi de la chaleur, le système est moins satisfaisant : la paroi métallique transmet assez mal la chaleur à l'air, beaucoup plus mal que dans les chaudières à vapeur, où la transmission se fait de la tôle au liquide, sans chute notable de température. De plus, la surface de chauffe est presque nécessairement insuffisante. Aussi, l'utilisation de la chaleur du combustible est-elle fort médiocre.

D'autre part, le métal ne peut communiquer à l'air avec lequel il est en contact des quantités un peu importantes de chaleur qu'à la condition d'être beaucoup plus chaud que lui; mais, aux températures élevées, il perd sa résistance et s'altère rapidement. Pour ménager les enveloppes, il faut donc modérer le chauffage et, par suite, renoncer à donner à l'air les hautes températures qui seules permettraient d'obtenir un rendement thermique satisfaisant.

Ces sortes de machines ne semblent donc convenir que pour le cas de petites forces, lorsque la question d'économie n'est qu'accessoire et que la question de commodité est prédominante.

Chauffage intérieur. — Pour obtenir des rendements élevés, il convient que la combustion se fasse directement à l'intérieur de la machine; dans ce cas, l'air devient à la fois moteur et comburant; la température maxima qu'il atteint n'est autre que la température de combustion.

Cette combinaison offre en théorie des avantages importants; mais elle présente, à l'application, des difficultés sérieuses.

Combustibles solides. — S'il s'agit de combustibles solides,

ces difficultés sont extrêmement graves et nombreuses. En premier lieu, l'allumage et la mise en train sont loin d'être commodes; le feu une fois allumé, il faut l'entretenir par l'introduction méthodique de fragments de combustible dans une capacité close; la machine doit marcher d'une manière continue; sans quoi, après chaque arrêt un peu prolongé, le feu s'est éteint, et l'on doit recommencer les opérations longues et pénibles de la mise en train; les fumées chaudes et chargées de suie attaquent et empâtent les organes; l'élimination des cendres et scories n'est pas facile à obtenir. Enfin, dans certains systèmes de machines à air chaud, les espaces nuisibles jouent un rôle capital; or, les enveloppes réfractaires dont on entoure le foyer sont poreuses et volumineuses, elles offrent donc des vides considérables, qui peuvent troubler le fonctionnement de la manière la plus grave.

Belou avait imaginé une machine à air chaud avec combustion intérieure entretenue par un combustible solide. Malgré son ingéniosité et celle de ses collaborateurs, ses recherches, longues, coûteuses, persévérantes ont échoué devant ces obstacles.

Le problème a été repris récemment, et, grâce à des combinaisons habiles, on a pu tourner en partie ces difficultés et faire fonctionner pratiquement des moteurs de ce genre. Le combustible est du coke et les frottements intérieurs sont constamment nettoyés et rafraîchis par un courant d'air froid.

Combustibles gazeux. — Lorsque l'on fait usage de combustibles gazeux, une partie de ces difficultés disparaissent. Ainsi l'admission du combustible est facile à régler; la production de fumée peut être fort atténuée et même disparaître ; il n'y a pas à s'occuper des cendres ni des scories.

Mais les combustibles gazeux sont très peu répandus à l'état naturel. Pour faire usage d'un pareil combustible, on en est réduit à le préparer de toutes pièces, et par suite il coûte cher.

Le combustible gazeux le plus usité pour la production de la force motrice est le gaz de l'éclairage. Mais, en général, le prix en est fort élevé, incomparablement plus élevé, pour un

même pouvoir calorifique, que celui de la houille ; il devient donc indispensable d'en économiser la consommation. C'est ce qui fait que, jusqu'ici, les machines empruntant leur action au gaz de l'éclairage ne s'emploient guère que pour de petites forces et dans le cas d'un travail intermittent et de peu de durée. La même nécessité a amené, dans les machines à gaz, des perfectionnements considérables ayant pour résultat de diminuer leur consommation ; c'est ainsi, comme on l'a vu, qu'au point de vue de l'utilisation mécanique de la chaleur du combustible, les machines à gaz soutiennent victorieusement la comparaison avec les machines à vapeur les plus perfectionnées.

Le prix du gaz de l'éclairage ordinaire dans les grandes villes comporte, comme éléments principaux, les frais d'amortissement et d'entretien d'une immense canalisation, les dépenses correspondant aux fuites qu'elle occasionne, des frais généraux énormes, etc. Toutes ces dépenses accessoires l'emportent de beaucoup sur les frais de fabrication proprement dits. On a cherché, dans certains cas, à s'en affranchir, en fabriquant directement le gaz dans une petite usine spécialement consacrée à l'alimentation du moteur thermique et qui joue, à l'égard de ce moteur, le même rôle que la chaudière vis-à-vis de la machine à vapeur. La fabrication peut avoir lieu soit par distillation simple, soit par combustion incomplète.

Distiller de la houille pour en tirer du gaz est une opération qui, économiquement parlant, est à peu près impraticable sur une petite échelle, à cause de la difficulté de vendre le coke et les sous-produits.

La combustion partielle se pratique dans des *gazogènes ;* elle fournit un mélange, à proportions variables, de gaz inertes, d'oxyde de carbone et d'autres gaz combustibles ; cette transformation du combustible solide est assez simple et peu coûteuse. Malheureusement les gazogènes actuels présentent des inconvénients qui ont singulièrement limité leur application à la production de la puissance motrice. Un gazogène demande une mise en train assez longue ; son allure doit être régulière, et sa production s'accommode mal d'écarts un peu prononcés, qui amèneraient infailliblement des variations

considérables dans la composition du gaz fabriqué. Une machine à gaz accolée à un gazogène perd ainsi une partie de ses avantages les plus précieux : on ne peut plus la mettre en marche instantanément et à volonté ; de plus les variations dans la composition du gaz réagissent de la manière la plus fâcheuse sur l'allumage. Ces inconvénients sont à peine atténués par l'interposition de gazomètres, dont l'installation est d'ailleurs toujours coûteuse.

Combustibles liquides. — Dans un grand nombre d'applications, il y aurait un intérêt de premier ordre à pouvoir se servir des combustibles liquides pour la production de la force motrice ; comme encombrement, comme poids, comme facilités d'emmagasinage, ils offrent des avantages considérables. Comme commodité d'emploi, ils semblent comparables au gaz de l'éclairage sauf sur un point : l'allumage et la tenue de la flamme; mais ce point est d'une importance capitale.

Pour arriver à produire ou à entretenir la combustion des liquides à l'intérieur de récipients sous pression, divers procédés ont été proposés; ceux qui semblent avoir donné les meilleurs résultats pratiques sont les suivants :

On chauffe le liquide pour le vaporiser, et cette vapeur est injectée dans le récipient où elle doit brûler. L'allumage ainsi obtenu est facile et régulier; mais la petite chaudière qui produit sous pression la vapeur inflammable n'est pas sans présenter de sérieux dangers.

Un second procédé, emprunté à d'autres industries, consiste à faire passer sur un liquide combustible et volatil un courant d'air suffisamment lent ; cet air se charge de vapeurs combustibles, et fonctionne dans un moteur analogue aux machines à gaz. Ce moyen est beaucoup moins dangereux que le précédent, mais la composition du gaz combustible ainsi fabriqué est influencée par diverses circonstances dont on n'est pas maître : constitution du liquide, température, vitesse du courant d'air, etc., de sorte que l'allumage ne se fait pas toujours bien régulièrement.

Enfin un troisième procédé consiste à injecter le liquide

sous forme de poussière, en le pulvérisant par un jet d'air; ce procédé n'exige pas, comme les précédents, l'emploi de liquides volatils et par conséquent fort dangereux à manier; mais l'allumage du jet pulvérulent est irrégulier et capricieux; de plus, il est difficile d'éviter l'encrassement des organes.

Les machines à liquides combustibles ont tenté bien des inventeurs et suscité bien des recherches; malgré tout l'intérêt qui s'attache à la question, malgré les efforts qui ont été faits pour la résoudre, ces machines ne se répandent que très lentement dans l'industrie. Espérons que les difficultés que présente leur établissement, notamment la difficulté de l'allumage, finiront par être surmontées.

Combustion ou explosion. — Les machines à combustion intérieure se divisent en deux grandes classes, suivant que la combustion se fait d'une manière régulière et continue ou qu'elle est explosive et intermittente.

Nous entendons ici par *combustion régulière* celle qui se produit lorsque le fluide combustible se consume progressivement et est fourni par débit régulier au fur et à mesure qu'il est brûlé.

Dans l'*explosion,* au contraire, le fluide combustible est préalablement mélangé d'une manière intime avec l'air; ce mélange, étant mis en présence d'un corps en ignition, s'enflamme brusquement, et l'inflammation se propage, en un temps très court, dans toute la masse du mélange.

Ces définitions sont loin d'être scientifiques : malgré des travaux considérables et justement estimés, les phénomènes relatifs à la propagation de la flamme et de l'explosion sont encore mal connus. Il paraît probable que, dans les cylindres des machines à gaz, l'explosion affecte une allure tout autre que dans l'eudiomètre ou les récipients des chimistes; les diagrammes d'indicateur semblent le prouver, quoique, peut-être, il puisse subsister quelque doute sur l'exactitude des diagrammes obtenus, lorsque les variations de pression sont très rapides. Des recherches nouvelles et précises donnant l'analyse de ces phénomènes obscurs seraient fort à désirer.

Les machines à combustible solide ne comportent que la

combustion continue; les machines à combustible gazeux ou liquide comportent les deux modes de combustion.

Combustion continue. — Dans les machines à combustion continue, les pressions n'éprouvent que des variations progressives et régulières; ces machines ont la même douceur de marche que les machines à vapeur. L'air, avant d'être introduit sur le foyer, doit subir une compression préalable.

On peut diviser ces machines en deux classes, suivant que la combustion se fait dans le cylindre ou dans un récipient spécial.

Dans le cas où la combustion a lieu dans un récipient spécial, les gaz de la combustion sont introduits dans le cylindre moteur à l'aide d'une distribution; les organes de distribution, traversés par un courant de gaz à haute température, plus ou moins chargé de cendres, de suie et d'escarbilles, sont exposés à gripper et à se détériorer; c'est là un des inconvénients graves qui ont fait échouer les tentatives faites pour appliquer ce système, notamment les essais si méritoires de Belou.

Dans les machines où la combustion se produit à l'intérieur du cylindre, cet inconvénient peut être évité; on peut également, par certains artifices, échapper à la difficulté de tenir contre l'air chaud le joint entre piston et cylindre, à la condition, toutefois, de n'opérer qu'à température modérée, c'est-à-dire de sacrifier les rendements élevés. D'autre part, le foyer intérieur devant être entouré de matériaux réfractaires, les espaces nuisibles prennent beaucoup de volume; il en résulte la nécessité de donner au cylindre une capacité considérable, et la machine devient fort encombrante.

Explosion. — En l'état actuel, les machines à explosion alimentées par un combustible liquide ou par du gaz de générateur ne diffèrent pas, en tant que mode de fonctionnement, des machines à gaz d'éclairage. Ce sont ces dernières que nous aurons principalement en vue dans la suite de cet exposé.

Au moment de l'explosion, la pression des gaz augmente brusquement; il y a un véritable choc, qui n'est pas sans être préjudiciable aux organes mécaniques. C'est là un des incon-

vénients des machines à explosion; c'est une des raisons qui font que jusqu'ici, on a hésité à aborder les grandes puissances à l'aide de ces machines.

Comme prix de revient de la force motrice, les machines à gaz ne peuvent soutenir la comparaison avec les machines à vapeur, à cause de la valeur très élevée du combustible consommé. L'usage de ces machines est donc aujourd'hui restreint aux cas où l'économie dans la production du travail peut être sacrifiée à d'autres considérations, considérations de sécurité, de faible encombrement, de prompte mise en marche, etc. Elles s'adaptent bien aux cas où le travail à produire est intermittent et de peu de durée.

Dans la plupart des applications néanmoins, le prix de revient de la force motrice a une importance qui ne peut pas être négligée, et c'est avec raison qu'on s'est attaché à augmenter l'effet utile du combustible coûteux brûlé dans les machines à gaz. Cette question mérite d'être examinée de plus près.

Nous n'essaierons pas d'établir, pour les moteurs dont il s'agit, un décompte numérique de l'emploi de la chaleur; nous nous contenterons d'analyser les déperditions d'une manière sommaire et générale.

Dans une machine à gaz, le coefficient économique, tel que nous l'avons défini plus haut, est fort élevé; si la machine était théoriquement parfaite, elle rendrait, par mètre cube consommé, quelque chose comme 6 à 7 chevaux-heures. En pratique, on est loin de ce compte, puisque chaque cheval-heure prend environ un mètre cube dans les bonnes machines.

Pour se rendre un compte au moins approximatif des déperditions, on peut les ranger sous les rubriques ci-après :

Pertes par les parois;
Imperfection du cycle;
Résistances passives;
Combustion incomplète et allumage.

Pertes par les parois. — Dans les moteurs en usage, le cylindre est en métal; la combustion intérieure l'échauffe très vite.

Il est indispensable de refroidir le cylindre pour éviter le

grippement, qui se produirait inévitablement au contact des garnitures du piston. Ici nous voyons apparaître de nouveau cette question des joints, cet obstacle pratique, qui se dresse à chaque tentative que l'on fait pour améliorer le rendement. La suppression de cet obstacle semble dépendre de la solution de deux problèmes :

1° Découverte d'une matière qui puisse être polie comme le métal, qui en ait l'élasticité et la dureté et qui supporte mieux que lui les températures élevées;

2° Découverte d'un joint étanche et lubrifiable aux températures élevées.

La perte de chaleur due au refroidissement de la paroi est considérable; dans les meilleures machines existantes, elle s'élève souvent à la moitié de la puissance calorifique du combustible consommé.

On a cherché à l'atténuer par divers procédés. Par exemple, on produit l'explosion dans un récipient spécial, distinct du cylindre et à parois isolantes, et l'on interpose entre ce récipient et le cylindre un matelas de gaz inertes et froids. Il est facile de voir qu'avec une pareille combinaison les gaz dilatés ne peuvent rendre en travail qu'une faible partie de la puissance élastique qu'ils renferment sous forme de chaleur : on gagne quelque chose sur les déperditions, on perd beaucoup sur l'effet dynamique.

Un autre moyen consiste à réserver pour l'allumage une portion de l'enceinte close du cylindre, en dehors de la partie qui reçoit le frottement du piston; le volume ainsi réservé n'est pas ou est peu refroidi; le refroidissement n'agit que sur la paroi frottante.

Le procédé qui jusqu'ici a donné les meilleurs effets consiste à imprimer une grande vitesse au piston, de telle sorte que, pendant la détente des gaz chauds, la durée de leur contact avec les parois refroidissantes soit aussi courte que possible. C'est par les grandes vitesses que l'on peut espérer se rapprocher de l'adiabatisme; ce principe, inauguré il y a près d'un quart de siècle, a été pratiqué avec succès et a conduit aux plus brillants résultats; il semble fort probable qu'avec les méthodes actuelles de construction, l'avenir des machines

à explosion soit tout entier dans les allures rapides, une fois que l'on aura surmonté certaines difficultés pratiques, notamment celle de l'allumage.

Imperfection du cycle. — Dans l'analyse que nous avons faite de l'emploi de la chaleur dans les machines à vapeur, nous avons évalué à 0,60 le coefficient de rendement du cycle, c'est-à-dire le rapport entre le travail indiqué et le travail théorique maximum.

Dans les machines à gaz, ce coefficient de 0,60 est bien loin d'être atteint. Les meilleures de ces machines donnent, à l'indicateur, des diagrammes qui n'ont aucun rapport avec le cycle de Carnot; la détente devrait théoriquement refroidir les gaz jusqu'à la température ambiante; or les gaz sortent extrêmement chauds; cette chaleur qu'emportent les gaz à l'échappement est la traduction physique de l'imperfection du cycle.

Il y a de grands progrès à réaliser dans cette direction. Peut-être l'usage de régénérateurs, si l'on arrive à les construire dans de bonnes conditions, pourra-t-il procurer des améliorations importantes.

Résistances passives. — A conditions égales, le cylindre d'une machine à gaz est beaucoup plus volumineux que celui d'une machine à vapeur; souvent aussi, la machine est à simple effet, en vue d'un refroidissement plus efficace, et elle comporte une compression préalable de l'air. Il ne faut donc pas s'étonner si les frottements et résistances accessoires prennent une importance considérable. Si l'on compare le travail indiqué au travail recueilli sur l'arbre de couche, on arrive à un rendement organique assez faible.

Les machines à gaz exigent un graissage très abondant et très soigné, sinon les frottements absorbent la majeure partie du travail des pressions.

Allumage et combustion imparfaite. — La combustion, dans les bonnes machines à gaz, semble en général assez complète; le mélange préalable des éléments gazeux favorise l'accomplissement des réactions. Les gaz de l'échappement

exhalent souvent une odeur très forte, mais cela ne prouve pas que les parties combustibles soient en grande abondance, eu égard à la grande puissance odoriférante de quantités même minimes d'acroléine, d'acétylène ou autres produits analogues. Il serait cependant à désirer que l'on fût mieux fixé sur ce point, qui n'a pas encore fait l'objet d'expériences nombreuses et précises.

Dans beaucoup de cas, notamment lorsqu'il s'agit de petites forces, la quantité de combustible dépensée pour assurer l'allumage, soit directement, sous forme d'une flamme, soit indirectement, sous forme d'une étincelle électrique, est loin d'être négligeable.

Effet utile des moteurs à explosion. — Les quatre causes principales de perte que nous venons d'analyser expliquent suffisamment les résultats pratiques auxquels on arrive; le rendement thermique des moteurs à explosion tombe presque au niveau de celui des bonnes machines à vapeur, quoique le coefficient économique soit environ trois fois plus grand.

D'un système de moteur à un autre, le résultat final est assez variable; mais les coefficients individuels qui caractérisent les différentes déperditions varient dans des limites encore plus étendues. Il serait donc hors de propos de chercher à les évaluer en chiffres, même d'une manière approximative.

Toutefois on peut dire que, dans la plupart des cas, les deux déperditions prépondérantes sont dues à l'influence des parois et à l'imperfection du cycle.

Procédés d'allumage. — Nous arrivons à l'examen rapide de quelques-uns des détails les plus importants nécessaires au fonctionnement des moteurs à explosion. Commençons par l'allumage.

La combustion étant très rapide, la flamme s'éteint après l'explosion; il faut donc opérer un nouvel allumage à chacun des cycles d'opérations. Dans les moteurs en usage, le rallumage s'obtient par des procédés fort divers, et qui donnent presque tous des effets réguliers. Voici quelques-uns des plus répandus :

Par un jet de flamme : dans les moteurs sans compression préalable, le jet de flamme pénètre directement dans le mélange détonant par l'ouverture d'une petite soupape, qui se referme d'elle-même, dès que la pression intérieure devient prépondérante, par le fait même de l'explosion; dans les moteurs à compression préalable, l'application de ce procédé d'allumage exige quelques dispositifs assez compliqués.

Par déplacement d'une flamme : un jet de gaz, allumé par une flamme fixe, est renfermé dans une cavité mobile, qui, par un léger et rapide déplacement, est mise en communication avec le mélange explosif; l'allumage ainsi obtenu est fort régulier lorsque la machine est bien établie et convenablement réglée.

Par l'étincelle électrique: l'étincelle jaillit entre deux pointes métalliques isolées; le courant à haute tension est fourni, soit par une bobine d'induction, soit par une petite dynamo actionnée par le moteur, soit enfin par un appareil assez analogue comme principe au *coup de poing* de Breguet, et dans lequel une bobine induite passe rapidement entre les pôles d'un aimant, sous l'action d'un fort ressort, déclenché au moment voulu par le mouvement du moteur; avec ce dernier dispositif, l'intensité de l'étincelle est indépendante de l'allure de la machine et la force absorbée par l'allumage est très petite.

L'allumage électrique nécessite quelques précautions d'installation et d'entretien, en vue d'éviter les dérivations du courant.

Par incandescence : un corps rendu incandescent, soit par le passage d'un courant électrique, soit par une flamme, est mis, au moment voulu, en contact avec le mélange explosif.

Dans tous ces procédés, l'allumage, provoqué en un point, s'étend, par propagation, à tout le mélange. On semble avoir trouvé avantage à faire varier le dosage, de telle sorte que la partie du mélange qui avoisine le point d'allumage soit plus riche que le reste en éléments combustibles.

Il est un procédé d'allumage qui, pour n'avoir pas été appliqué d'une manière tout à fait pratique, ne semble pas absolument inapplicable : il consiste à exercer sur le mélange explosif une *compression* qui l'échauffe et détermine la réac-

tion ; si le mélange est déjà chaud et contenu dans une capacité chaude, il suffit d'une compression assez modérée pour le porter à la température d'inflammation; avec ce procédé, la combustion se produirait presque instantanément dans toute la masse comprimée.

Eau consommée. — Il faut, pour refroidir les parois, une assez grande quantité d'eau, qui souvent coûte cher ou est difficile à se procurer; il serait fort avantageux, dans beaucoup de cas, de pouvoir échapper à cette sujétion. On y est parvenu, dans les petits moteurs, en augmentant l'action du rayonnement et de l'air extérieur au moyen de nervures à grande surface. Pour les moteurs un peu puissants, le résultat ainsi obtenu serait insuffisant. On a essayé aussi d'immerger le cylindre dans une bâche ouverte et pleine d'eau; cette eau se vaporise à 100° au fur et à mesure que la chaleur lui est transmise; la consommation d'eau se trouve ainsi fortement réduite.

Organes régulateurs de la vitesse. — Sur l'arbre de couche est monté un volant, destiné à amortir les variations périodiques du travail moteur. Ces variations, dans la plupart des moteurs à explosion, sont beaucoup plus étendues que dans les machines à vapeur, ce qui entraîne à donner au volant une grande puissance.

Pour réprimer les écarts permanents de régime, résultant d'inégalités durables entre le travail moteur et le travail résistant, on a généralement recours au régulateur à force centrifuge. Le régulateur agit de diverses manières.

Parfois, il agit par étranglement, en créant, sur le passage des courants gazeux, des pertes de charge variables. Ce mode d'action, très usité dans les machines à vapeur, est beaucoup plus limité dans ses résultats lorsqu'il s'applique à des machines à explosion.

Dans un grand nombre de machines à gaz, le régulateur agit sur l'admission du gaz combustible; il est délicat de modifier la teneur du mélange explosif, dont la composition doit être maintenue entre des limites assez resserrées, au delà des-

quelles l'allumage ne se ferait plus; ce moyen a cependant été appliqué dans certaines machines, et a pu réussir, grâce à des artifices ingénieux. Le plus souvent on procède autrement. La puissance de la machine est réglée de manière à l'emporter, en marche normale, sur le travail résistant; la vitesse tend donc constamment à s'accroître; dès qu'elle dépasse la limite fixée, le régulateur déplace une came, et l'admission se trouve supprimée pendant un ou plusieurs cycles; la machine continue son mouvement en vertu de la force vive accumulée dans le volant; quand la vitesse a suffisamment diminué, le régulateur reprend sa position ordinaire, et l'admission du gaz se rétablit.

Quelquefois aussi le régulateur agit, non sur l'admission, mais sur l'échappement.

L'action du régulateur à force centrifuge résulte de la force d'inertie des boules, force variable avec la vitesse. Dans quelques machines récentes, on a eu l'idée ingénieuse d'utiliser sous une autre forme la variation de la force d'inertie : la pièce mobile est oscillante et non pas tournante; les régulateurs ainsi agencés sont parfois d'une grande simplicité.

Grâce à ces procédés et à l'aide d'un volant puissant, on peut maintenir une allure à peu près régulière. Les organes d'admission du gaz étant petits, tout le système régulateur peut être établi légèrement et tient peu de place. La dépense de gaz augmente et diminue en même temps que le travail à fournir.

Dans quelques machines de faible puissance et qui n'ont pas besoin d'une grande régularité de vitesse, le régulateur est supprimé; pour empêcher la machine de s'emporter, il suffit d'étrangler l'arrivée du gaz; quand la vitesse dépasse sa valeur normale, le mélange explosif devient trop pauvre et ne s'enflamme plus.

Compression préalable. — Dans certaines machines, les gaz, avant l'explosion, sont à la pression ambiante, et la pression motrice est due à l'élévation de température produite par l'explosion. D'autres machines procèdent d'un fonctionnement différent : le mélange explosif est comprimé avant d'être allumé.

Les machines sans compression préalable sont plus simples d'organes; l'allumage se fait sans difficulté.

La compression préalable présente des avantages nombreux : la puissance est plus grande à égalité de volume et la chaleur en général mieux utilisée. De plus, au moment de l'explosion, les organes de transmission sont déjà comprimés, ce qui atténue les temps perdus et l'effet des chocs.

La compression est effectuée, tantôt par un piston spécial, tantôt dans le cylindre moteur lui-même. Ce dernier procédé est le plus en usage; il est caractérisé sous le nom de *cycle à quatre temps,* ce cycle se composant de quatre opérations successives, exécutées dans le même cylindre, à savoir :

Aspiration du mélange explosif;
Compression du mélange explosif;
Explosion et détente;
Expulsion des produits brûlés.

Le cycle à quatre temps présente cet avantage important, que le mélange se trouve réchauffé, d'un côté, par son contact avec les parois du cylindre, contact prolongé pendant deux courses du piston, d'un autre côté par le fait même de la compression; il est donc dans de bonnes conditions pour s'enflammer, et, de fait, le cycle à quatre temps permet des dosages relativement faibles en gaz combustible.

Sur les quatre opérations, une seule, l'explosion et la détente, donne lieu à un travail moteur; deux opérations, l'aspiration et l'expulsion, n'occasionnent qu'une faible dépense de travail; la compression absorbe du travail. De plus, dans la plupart de ces machines, les pressions ne s'exercent que sur l'une des faces du piston; l'autre face reste en contact avec l'air extérieur, qui concourt efficacement au refroidissement. En définitive, le mécanisme est assez mal utilisé; là où une machine à vapeur donnerait quatre coups de piston utiles, la machine en question n'en donne qu'un, dont le travail est en partie absorbé par la période de compression.

Au point de vue de la régularité d'allure, ce système laisse aussi fort à désirer, le volant devant dépenser en deux tours le travail emmagasiné pendant une demi-révolution.

On pallie ces deux inconvénients en imprimant à la machine une grande vitesse de marche, vitesse qui cadre très bien, d'ailleurs, avec la réalisation de rendements élevés.

Lorsque, en outre, on cherche à obtenir une vitesse de rotation bien régulière, on attelle deux pistons sur un même arbre de couche, en croisant les périodes, de manière à avoir une impulsion à chaque révolution; au besoin, quatre pistons attelés sur le même arbre donnent une régularité analogue à celle des machines à vapeur à double effet.

Le cycle à quatre temps a permis d'établir des machines à gaz solides et durables, d'un fonctionnement régulier, faciles à conduire et à entretenir, ayant un rendement thermique relativement élevé. Malgré le haut prix du combustible qu'elles consomment, elles ont été appliquées à de nombreuses industries et ont pris une extension rapide.

Machines mixtes et diverses. — Pour augmenter l'effet utile de la chaleur, on a cherché à adapter divers perfectionnements aux machines à air chaud. La plupart ont pour objet l'amélioration du cycle des machines à explosion, et surtout l'utilisation de la chaleur emportée par les gaz de l'échappement.

Dans certaines de ces machines, ces gaz, encore chauds et sous pression, sont envoyés dans un cylindre spécial où ils agissent sur un piston; d'autres fois, ces gaz servent à chauffer une petite chaudière, alimentant un piston de machine à vapeur. Les résultats ainsi obtenus ne sont pas encore bien nets; la question a besoin d'être étudiée.

D'autres inventeurs, en poursuivant les applications de la puissance de la chaleur à la navigation, ont poussé leurs recherches dans une voie toute différente : ils suppriment piston, machine et propulseur, et font agir directement la pression des gaz à l'arrière du bateau, sur l'eau dans laquelle il flotte. Quant aux substances employées pour développer la pression, elles sont très diverses; tantôt la combustion est continue et ce sont les gaz provenant de cette combustion qui servent d'agents propulseurs; d'autres fois on a recours à des mélanges gazeux explosifs; dans certains cas, on a même cherché à faire usage

d'explosifs solides, tels que les poudres lentes ou le pyroxyle. Ces expériences n'ont fourni, jusqu'ici, rien de pratique ; mais elles ont donné lieu à de regrettables accidents. L'idée paraît assez séduisante et ne semble se heurter contre aucune impossibilité théorique ; il est possible que cette voie conduise, un jour ou l'autre, à des résultats utiles, surtout en vue de certaines applications spéciales, telles que les torpilles automobiles, etc.

Questions diverses. — Nous mentionnerons encore quelques problèmes qui se sont posés dans la pratique de ces moteurs.

En premier lieu, vient la question du graissage ; elle est ici particulièrement importante et délicate, à cause de la valeur élevée des résistances dues aux frottements, et des difficultés qu'occasionnent les fluides à température élevée, et surtout l'air chaud.

La mise en train, qui, abstraction faite de la montée en pression de la chaudière, est si facile dans les machines à vapeur, ne laisse pas ici que de donner lieu à des embarras, surtout pour les moteurs à compression préalable. Il en est de même du changement de marche. Ces problèmes ont été plus ou moins résolus par divers procédés, sur lesquels il est inutile d'insister.

Bien d'autres questions se présentent encore, telles que celle des mélangeurs de gaz, celle de l'expulsion totale ou partielle des produits de la combustion, celle des agencements mécaniques des moteurs, etc. Mais, si grand que puisse être l'intérêt qu'elles présentent, cet intérêt ne semble pas d'ordre assez général pour mériter ici autre chose qu'un rappel.

Pour terminer, disons un mot des applications les plus habituelles qu'ont reçues les moteurs thermiques.

De l'emploi des divers moteurs thermiques. Installations fixes. — Parlons d'abord des installations fixes.

Lorsqu'il s'agit de produire à bon marché une force motrice puissante et continue, la machine à vapeur ordinaire reste encore le moteur industriel par excellence. Les autres machines thermiques n'ont reçu, dans de pareilles conditions, que des

applications isolées et justifiées par des conditions économiques spéciales; pour que la situation fût modifiée, il faudrait sans doute que de grandes améliorations fussent apportées dans la construction de ces moteurs; ceux qui consomment des combustibles solides, soit directement, soit après transformation par gazogène, se prêtent peut-être mieux que d'autres à une pareille transformation.

Pour les puissances de quelques chevaux, les machines thermiques, et surtout les machines à explosion, ont pris une large place dans l'industrie; leurs avantages sont surtout manifestes lorsque le service à faire est intermittent. C'est principalement la machine à gaz avec cycle à quatre temps qui a donné lieu à de nombreuses applications.

Pour les très petites forces, lorsque la question de commodité d'emploi est prédominante, la machine à vapeur cesse d'être à sa place, et les divers moteurs thermiques rendent des services chaque jour plus appréciés.

Installations mobiles. — Les machines thermiques, telles qu'on les construit aujourd'hui, sont encore trop lourdes, trop encombrantes et trop délicates pour avoir donné lieu à des applications importantes dans le cas d'installations mobiles.

Quelques essais de ces machines ont été tentés pour la traction des tramways.

En matière de navigation, les machines à vapeurs combinées ne semblent pas avoir dit leur dernier mot.

Quant aux machines à air chaud, pour qu'elles puissent être appliquées d'une façon courante aux transports, elles auraient besoin, avant tout, d'être rendues plus légères; pour réaliser cette amélioration, certains perfectionnements s'indiquent d'eux-mêmes, et mériteraient d'être étudiés, tels que l'emploi de hautes pressions et de grandes vitesses, la simplification des cycles, l'usage des combustibles liquides, etc.

Peut-être un avenir prochain nous réserve-t-il à cet égard des surprises.

Questions à examiner par le Congrès. — Nous avons essayé, dans ce qui précède, d'énumérer quelques-uns des

sujets d'étude qui se présentent à propos des moteurs thermiques. Si imparfaite que soit cette esquisse, il faut espérer qu'elle ne sera pas sans quelque utilité, qu'elle pourra provoquer les communications des savants ingénieurs qui ont étudié la matière, qu'elle soulèvera des discussions instructives.

On trouvera ci-après une liste des principales questions qu'il pourrait être intéressant d'examiner dans les séances du Congrès. Nous prenons la liberté de les soumettre aux réflexions de nos collègues. L'ordre observé dans cette liste est, à peu de chose près, le même que celui qui a été suivi dans le cours du présent rapport, ce qui facilitera les rapprochements.

Machines à vapeur d'eau surchauffée. — Descriptions et résultats.

Machines à vapeur diverses. — Descriptions et résultats. — Propriétés physiques de diverses vapeurs. — Propriétés au point de vue de l'innocuité, du graissage, de l'étanchéité des joints, etc.

Machines à air chaud. — Descriptions et résultats. — Joints et graissage. — Construction des régénérateurs de chaleur.

Machines à air chaud à combustible solide. — Descriptions et résultats.

Combustibles gazeux et liquides. — Gazogènes. — Allumage des liquides.

Machines à explosion. — Descriptions et résultats. — Études sur la combustion des mélanges détonants.

Études expérimentales de machines thermiques. — Étude du combustible. — Travail indiqué. — Travail effectif. — Rendement organique. — Étude des gaz d'échappement. — Rendement thermique.

Procédés d'allumage.

Régulateurs de vitesse.

Influence de la compression préalable.

Joints, graissage, mise en train, organes divers.

Données statistiques sur les machines thermiques.

TABLE DES MATIÈRES.

DU MÉMOIRE DE M. J. HIRSCH.

PRODUCTION MÉCANIQUE

ET

UTILISATION DU FROID ARTIFICIEL [1],

Par M. Gustave RICHARD,

Ingénieur civil des Mines.

DIVERS MOYENS DE PRODUCTION MÉCANIQUE DU FROID.

Les divers moyens appliqués ou proposés pour la production du froid artificiel sont très nombreux, mais un seul a survécu et semble devoir se maintenir, dans la grande industrie du moins : c'est celui qui consiste à utiliser le froid produit par la détente d'un gaz comprimé ou d'une vapeur liquéfiée, refroidis pendant leur compression.

Parmi les autres moyens, que nous nous bornerons à indiquer en passant, il faut retenir le suivant, fondé sur le principe de Leslie, et qui consiste essentiellement à vaporiser dans le vide un liquide plus ou moins volatil, dont les vapeurs sont ensuite rejetées dans l'atmosphère (*Atkinson*) ou absorbées par un réactif que l'on régénère indéfiniment. Le type le plus connu de ces machines est l'appareil domestique de *Carré* [2] qui emploie comme liquide volatil l'eau même à congeler et comme absorbant l'acide sulfurique, déjà préconisé par

---

(1) Cette étude a été préparée à la demande du Comité d'organisation du *Congrès international de Mécanique appliquée* qui doit se réunir au Conservatoire des Arts et Métiers, du 16 au 21 septembre 1889 (*voir* ci-dessus la note de la p. 97).

(2) Brevet anglais 4164 de 1876.

Nairne (1880), *Vallance* (1) et *Tellier* (2). Tout récemment M. *Fleuss* (3) a apporté à cet appareil quelques modifications de détail qui en rendent le maniement plus facile, mais sans lui enlever l'inconvénient du danger que présente fatalement l'emploi de l'acide sulfurique dans les usages domestiques. D'autres inventeurs, notamment *Windhausen* (4), *Galland* (5), *Conacher* et *Williams* (6) ont appliqué en grand les appareils à acide sulfurique; mais les inconvénients inhérents à la délicatesse des pompes à faire le vide, à la manutention et à la régénération de l'acide sulfurique ont empêché ces appareils de se maintenir dans la pratique, malgré leurs dispositions ingénieuses et la supériorité temporaire de leur rendement.

On évite ces manipulations dangereuses et compliquées, mais aux dépens du rendement et de l'activité de la machine, en remplaçant l'absorption des vapeurs par une condensation, comme dans l'appareil d'*Atkinson* (7) et dans l'intéressante petite machine industrielle de *Blythe* et *Southby*, qui présente en compensation l'avantage très précieux d'une innocuité parfaite (8).

La production du froid par les *dissolutions salines* et les combinaisons endothermiques est également restée limitée aux appareils domestiques, malgré l'ingéniosité développée par un grand nombre d'inventeurs, notamment par *Siemens* (9), *Mort* (10), *Rossi* (11), *Galland* et *Wilson* (12).

Nous allons maintenant étudier avec quelques détails le genre de machines frigorifiques presque exclusivement adop-

(1) Brevets anglais 4884 et 5001 de 1824.
(2) Brevet anglais 228 de 1872.
(3) Brevets anglais 2408 de 1886 et 223 de 1887.
(4) Brevets anglais 1678 de 1878, 2010 de 1880. — *Engineering*, 27 octobre 1882, p. 404. — *La Nature*, 3 mai 1884.
(5) Brevet anglais 1346 de 1873. — Péclet, *La Chaleur*, t. III, p. 150.
(6) Brevets anglais 14082 de 1886; 1181, 2319 de 1887; 860 de 1888.
(7) Brevet anglais 16547 de 1886.
(8) *The Engineer*, 28 décembre 1888, p. 530.
(9) Brevets anglais 1105 de 1855, 2074 de 1858.
(10) Brevet anglais 1208 de 1876.
(11) *Ibid.* 8777 de 1884.
(12) *Ibid.* 1398 de 1879.

tées aujourd'hui dans l'industrie, fondées comme nous l'avons dit, sur l'emploi de la détente des gaz comprimés ou des vapeurs liquéfiées.

Ces machines se divisent donc en deux classes :

Machines à gaz comprimés;
Machines à gaz liquéfiés.

Les machines à gaz liquéfiés se subdivisent elles-mêmes en deux variétés : machines *à compression* et machines *à affinité*, suivant qu'on emploie, pour liquéfier les gaz, la compression mécanique, ou, après leur dissolution dans un liquide absorbant, l'action de la chaleur sur ce liquide.

MACHINES A AIR [1].

Le fonctionnement des machines frigorifiques à air est théoriquement des plus simples : elles sont à cycle fermé ou à cycle ouvert.

Dans le premier cas, une même masse d'air, alternativement comprimée suivant une isothermique puis détendue en effectuant un travail, est ramenée à son état primitif en absorbant de la chaleur au corps à refroidir.

Lorsque la machine n'est pas à cycle fermé, l'air aspiré de nouveau à chaque coup du compresseur peut être refroidi préalablement par l'air détendu qui s'échappe du réfrigérant sans avoir épuisé toute la chaleur du corps à refroidir : c'est une application ingénieuse du *régénérateur* aux machines frigorifiques à air, lesquelles ne sont, comme on le voit, que des machines thermiques inversées.

A l'opposé des machines thermiques, le rendement des machines frigorifiques, qui convertissent du travail en chaleur de compression au lieu de transformer de la chaleur en travail de détente, diminue avec la chute de température disponible, ou avec la détente de l'air. Mais, à mesure que cette détente

---

(1) ARMENGAUD, *Étude sur la production mécanique du froid;* 1874. — LEDOUX, *Théorie des machines à froid* (*Annales des Mines;* juillet-août 1878.) — LIGHTFOOT, *Machines for producing cold air* (*Inst. of Mechanical Engineers;* janvier 1881). — J. COLEMAN, *Refrigerating Machinery* (*Inst. of Civil Engineers;* London, 14 février 1882).

s'abaisse et que le rendement augmente, l'activité ou le degré frigorifique de la machine diminue suivant la loi des échanges de Newton, de sorte qu'il faut tenir compte, pour établir la meilleure détente, à la fois du prix théorique de la calorie négative et de l'encombrement de la machine. Les résistances passives, ainsi que les frais d'établissement, augmentent en effet très vite avec cet encombrement. Sans prétendre proposer une solution générale de cette question complexe, on peut dire qu'une détente de 2,5 convient à la plupart des cas en pratique.

Nous avons dit que l'air devait être, pendant sa compression, refroidi de manière à décrire autant que possible une isothermique : la raison physique en est fort simple, car, sans ce refroidissement, l'air exigerait pour sa compression un travail plus considérable. L'air doit donc toujours être comprimé à froid, sous l'influence d'une circulation d'eau extérieure au compresseur et parfois d'une injection d'eau, dont le volume par course ne dépasse pas, en pratique, le centième d'une cylindrée. Ce refroidissement augmente de 15 à 40 pour 100 le rendement des machines.

Quant au refroidissement complémentaire de l'air aspiré par celui qui s'échappe du réfrigérant, il s'est moins répandu malgré son incontestable utilité, dont *sir William Siemens* a développé la théorie en même temps que démontré la réalité en appliquant avec le plus grand succès ce principe à l'amélioration d'une machine à air de *Gorrie*, en 1857 (1). Nous en retrouverons toutefois une heureuse application dans les machines de *Windhausen* (2) et de *Bell-Coleman* (3).

D'autres inventeurs, notamment M. *Carnegie Kirk* (4), ont proposé d'utiliser dans les machines frigorifiques à air les échangeurs de température à toiles métalliques des moteurs à air chaud. La machine extrêmement ingénieuse de *Kirk* se compose essentiellement d'un gros piston différentiel, en ma-

(1) Brevet anglais 2064 de 1857. — SIEMENS, *Scientific Works*, t. II, p. 192.
(2) Brevet anglais 669 de 1869.
(3) *Inst. of Civil Engineers*, 14 février 1882.
(4) Brevet anglais 1218 de 1862. — *Inst. of Civil Eng.*, 1874, t. XXXVII, p. 244, et 20 mars 1884.

tière non conductrice, se mouvant dans un cylindre vertical dont le bas, où se fait la compression isothermique de l'air, est maintenu à une température constante t_1 par une circulation d'eau. Lorsque le piston déplaceur descend, cet air comprimé passe en haut du cylindre, où il se détend après avoir traversé le centre du piston occupé par une masse de toiles métalliques auxquelles il abandonne sa chaleur en s'abaissant à la température t_2 de sa détente isothermique. Après avoir refroidi aux environs de t_2 le liquide incongelable qui circule dans le haut du cylindre, l'air descend, lorsque le déplaceur monte, au travers du régénérateur qui le ramène à t_2, pour être comprimé de nouveau. Mais ce régénérateur, dont le fonctionnement théorique est presque parfait, est sujet à quelques inconvénients pratiques : la glace et la neige qui s'y précipitent l'obstruent, comme la suie des moteurs à air chaud, et exigent des lavages au liquide incongelable. Il faut, de plus, fonctionner, à moins d'exagérer les dimensions, avec de l'air préalablement comprimé à de hautes pressions. Ces raisons, et d'autres moins importantes, ont empêché les machines de Kirk de se répandre : nous avons cru néanmoins devoir les signaler à cause de l'exactitude de leur principe [1].

La condition fondamentale de la détente de l'air dans les machines frigorifiques est d'accomplir un travail qui refroidisse l'air et, en outre, s'ajoute au travail du moteur de manière à le soulager d'autant. Quant à la capacité du cylindre de détente, d, elle est définie théoriquement, et pour de l'air sec, par l'équation

$$\frac{c}{d} = r^{(n-1)} = r^{0,41},$$

dans laquelle on désigne par c le volume du cylindre de compression, par r le degré de détente, et par n le rapport (1,41) des chaleurs spécifiques de l'air à pression et à volume constants.

D'autre part, la machine frigorifique à air n'étant que l'inverse d'un moteur à air chaud, son coefficient économique maximum est donné, en supposant que l'air y décrive un cycle

[1] *Voir* aussi le brevet anglais de POSTLE, 709 de 1873.

de Carnot entre les températures absolues extrêmes T_1 et T_2 au compresseur et au réfrigérant, par le rapport

$$\frac{T_2}{T_1 - T_2}.$$

Le travail θ minimum nécessaire pour produire une calorie négative est donné en kilogrammètres par la formule

$$\theta = 425 \frac{T_1 - T_2}{T_2}.$$

En pratique, ces rendements ne sont jamais atteints, parce que les machines à air, même à cycle fermé, ne décrivent pas un cycle de Carnot, et parce que diverses actions secondaires telles que l'humidité de l'air, dont la congélation ou la précipitation en neige impalpable nuit au fonctionnement des organes en même temps qu'au rendement frigorifique, la conductibilité imparfaite des parois réfrigérantes (cylindres et serpentins), les défectuosités des organes et les espaces nuisibles introduisent dans le jeu de la machine des perturbations dont il est impossible de formuler l'importance.

Il en est de même des résistances passives parfois relativement très considérables en raison de l'importance des volumes d'air à traiter : le rendement organique des machines à air dépasse en effet rarement 80 pour 100.

Sans prétendre énoncer des chiffres absolus, on peut dire qu'avec une pression de 4^{atm} on ne doit guère espérer atteindre un rendement supérieur à 1000^{cal} négatives par cheval-heure au compresseur, ni une énergie frigorifique supérieure à 25^{cal} par mètre cube d'air passé dans la machine.

Les points faibles des machines à air sont leur rendement peu élevé et leur grand volume, qui tient à la légèreté de l'air et à sa faible chaleur spécifique ; leur principal avantage est de pouvoir fonctionner à cycle ouvert avec un corps travailleur qui ne coûte rien, et dont la température initiale n'influe que très peu sur le rendement. Cet avantage explique la faveur dont les machines à air jouissent dans les pays chauds et à bord des navires, où l'on préfère dépenser plus de charbon et ne pas dépendre de l'approvisionnement limité d'un corps

chimique. L'emploi des machines à air semble aussi tout indiqué pour la production directe de l'air froid à très basse température.

Avant d'aborder l'analyse des principaux organes des machines à air, je signalerai quelques types dans lesquels on s'est écarté de la combinaison ordinaire de ces machines, composées d'un *compresseur,* d'un *refroidisseur* d'air comprimé, d'un *détendeur* et d'un *réfrigérant.* Telles sont les machines d'*Allen* (1) et de *Klein* (2) où l'air fonctionne entre des pressions élevées, 20^{atm} et 5^{atm}, de manière à diminuer l'encombrement, la machine de M. *Herbert Lloyd* (3) mixte, à air et à gaz ammoniac, dans lesquelles l'air comprimé est, avant de passer au détendeur, refroidi par une vaporisation de gaz ammoniac liquéfié, et quelques machines, comme celles de *G. Sloper* (4) et de *Dugald Clerk* (5), où la compression puis la détente s'opèrent successivement, dans plusieurs cylindres disposés en cascade.

Nous allons maintenant passer en revue les principaux organes des machines à air, et décrire sommairement quelques-uns des types les plus importants.

Principaux organes des machines à air.

Les principaux organes d'une machine frigorifique à air sont, comme nous venons de le voir, les suivants :

Le *compresseur ;*
Le *refroidisseur et sécheur* d'air ;
Le *détendeur* avec sa boîte à neige ;
Le *réfrigérant.*

Nous allons étudier successivement les principales caractéristiques de ces organes essentiels.

---

(1) Brevet anglais 472 de 1882.
(2) *Ibid.* 1944 de 1881.
(3) *Ibid.* 1420 de 1883.
(4) *Ibid.* 1522 de 1856.
(5) *Ibid.* 3536 de 1881.

Compresseur. — Le compresseur peut être à simple ou à double effet; on y distingue comme principaux éléments :

Les *soupapes* et *distributeurs*,
Les *garnitures* ou stuffing-box,
Le *piston*,
Les *moyens de refroidissement.*

Les compresseurs à double effet sont les plus fréquemment employés, surtout sur les navires, où l'encombrement doit être réduit le plus possible. A terre, où cette considération n'a pas la même importance, on préfère souvent les cylindres à simple effet, plus accessibles et sans autre garniture que celle du piston ; moins actifs, le refroidissement de l'air pendant la compression y est plus facile, et ils durent plus longtemps.

Les soupapes, ordinairement en fer ou en acier, sont en général pourvues d'un amortisseur des chocs, *dash-pot* ou autre : le dispositif des machines *Clerk* (1) est l'un des mieux étudiés. Les soupapes de M. *Giffard* sont soit en acier battant par une seule ligne de contact sur un siège en bronze ou en caoutchouc (2), soit formées d'un corps en caoutchouc serré entre deux rondelles métalliques et appliqué sur le siège par la pression même de l'air comprimé, qui dilate le caoutchouc (3).

Les soupapes d'aspiration du compresseur des machines de *Haslam* sont articulées à leurs tiges par un joint sphérique leur permettant de s'appliquer toujours exactement sur leur siège, qui est refroidi, comme celui des soupapes de refoulement, par une circulation d'eau (4). Il en est de même du siège des soupapes de M. *Matthews* (5), qui sont formées par une large rondelle annulaire découpée en secteurs flexibles occupant tout le fond du cylindre. Les soupapes du compresseur à double effet de *Chambers* (6), qui occupent aussi

(1) Brevet anglais 3536 de 1881.
(2) *Ibid.* 3108 de 1877.
(3) *Ibid.* 2064 de 1875.
(4) *Ibid.* 2032 de 1883.
(5) *Ibid.* 5648 de 1886. — *Industries,* 5 octobre 1888.
(6) *Ibid.* 605 de 1882. — *Engineering*, 7 avril 1882, p. 340.

tout le fond du cylindre, sont montées sur un faux couvercle appliqué contre un garnissage en caoutchouc par un fort ressort; ce ressort cède aux coups d'eau et permet de réduire sans danger l'espace nuisible au minimum.

Quelques inventeurs [*Gorrie* (1), *Nehrlich* (2)] ont employé des soupapes commandées mécaniquement, dont les ouvertures sont plus promptes que celles des soupapes automatiques. D'autres constructeurs, comme M. *Lightfoot* (3), emploient dans certains cas des robinets analogues à ceux des machines Corliss ou des tiroirs, comme dans les machines de *Haslam* (4) et d'*Ellis* (5); mais l'expérience ne paraît pas avoir encore suffisamment établi la supériorité de ces distributeurs sur les soupapes ordinaires.

Parmi les différents systèmes de *garnitures* proposés pour la tige du piston, nous n'avons guère à signaler que le *stuffing-box* à cuir embouti de M. *Giffard* (6), qui n'existe plus d'ailleurs sur la plupart de ses nouvelles machines.

La *garniture des pistons* de M. *Giffard* se compose essentiellement d'un segment en caoutchouc durci appliqué sur les parois du cylindre par la pression même de l'air refoulé (7). Cette garniture, qui peut être aussi formée de segments métalliques contre-butés par du caoutchouc (8), remplace avantageusement la garniture à rondelle coincée appliquée sur les premières machines de M. Paul Giffard (9).

Les *moyens de refroidissement* du compresseur consistent en une enveloppe à circulation d'eau, étendue parfois au couvercle et même au piston (10), et combinée souvent avec l'em-

---

(1) Brevet anglais 13234 de 1850.
(2) *Ibid.* 1873 de 1874.
(3) *Ibid.* 673 de 1882.
(4) *Ibid.* 1484 de 1880.
(5) *Ibid.* 4882 de 1885.
(6) *Ibid.* 2064 de 1875.
(7) *Ibid.* 3108 de 1877.
(8) *Ibid.* 2064 de 1875.
(9) Brevets anglais 2011 de 1871, 627 de 1873.
(10) STURGEON, Brevet anglais 4863 de 1877.

ploi d'une injection d'eau pulvérisée, que l'on retrouve dans les machines les plus anciennes ([1]). M. *Kilbourn* rend l'action de la circulation d'eau plus efficace en faisant le cylindre intérieur de ses compresseurs en bronze, moins épais et plus conducteur que la fonte.

Refroidisseur-sécheur. — Le refroidissement de l'air au compresseur même ne suffit pas dans la plupart des cas : il faut alors achever ce refroidissement en soumettant l'air comprimé au contact de tubes à circulation d'eau froide ou à l'action d'une seconde injection d'eau. Dans ce dernier cas, le refroidisseur doit être forcément suivi d'un sécheur, pour débarrasser l'air de son excès d'eau avant son entrée au détendeur. Tel est le cas des machines de *Teal* et *Fryer* ([2]), *Laidlaw* et *Robertson* ([3]), *Bell* et *Coleman* ([4]).

Quant aux tubes des refroidisseurs, souvent en cuivre, ils sont parfois annulaires ([5]) ou croisés ([6]) pour en multiplier les surfaces. M. *Chambers* refroidit l'air du compresseur en lui faisant traverser plusieurs faisceaux consécutifs de tubes en U, libres de se dilater, et autour desquels circule le liquide réfrigérant, de sorte que la surface entière des tubes est également utilisée ([7]). M. *Clerk* remplace les tubes par une série de gros cylindres concentriques fermés à un bout seulement, emboîtés les uns dans les autres avec des jeux où circulent alternativement l'air comprimé et l'eau de refroidissement ([8]).

Les tubes peuvent être, en totalité ou en partie, refroidis par un courant d'air froid venant soit en partie directement du détendeur et en partie du réfrigérant, comme dans les machines de *Windhausen* ([9]) et de *Haslam* ([10]), soit en totalité

([1]) Gorrie, Brevet anglais 13234 de 1850. — Teal et Fryer, Brevet 3957 de 1879.

([2]) Brevet anglais 3957 de 1879.

([3]) Brevet anglais 2666 de 1864.

([4]) *Inst. of Civil Eng.*, 20 mars 1884.

([5]) Bryce-Douglas, Brevet anglais 1188 de 1880.

([6]) Allen, Brevet anglais 3788 de 1880.

([7]) Brevet anglais 605 de 1882. — *Engineering*, 7 avril 1882, p. 320.

([8]) *Ibid.* 3536 de 1881.

([9]) *Ibid.* 669 de 1869.

([10]) *Ibid.* 5060 de 1880.

par le retour du réfrigérant au compresseur, comme dans les machines de *Bryce-Douglas* (1), *Northcott* (2), *Ellis* (3) et *Matthews* (4). Dans les machines de *Bell* et *Coleman*, l'air rafraîchi au sortir du compresseur par un arrosage achève de se refroidir, en même temps qu'il se sèche, par son passage au travers d'une série de tubes renfermés dans la chambre froide ou réfrigérant (5). Dans les machines de *Lightfoot*, au contraire, ce refroidissement supplémentaire s'opère dans un petit détendeur spécial, que l'air traverse avant d'arriver au grand détendeur, et au sortir duquel il abandonne la majorité de son eau en parcourant, entre les deux détendeurs, une série de chicanes disposées comme celles d'un antiprimeur (6). Ces deux modes de refroidissement complémentaire sont théoriquement équivalents, mais le procédé Lightfoot comporte des appareils moins encombrants et plus simples.

Nous ne ferons que signaler le dispositif de séchage proposé par M. *Nehrlich*, où l'air comprimé, préalablement refroidi, se débarrasse de la majeure partie de son humidité par un refroidissement complémentaire dans l'enveloppe du cylindre détendeur (8).

Détendeur. — Les principaux organes du cylindre détendeur sont les mêmes que ceux du compresseur. On y retrouve, comme moyens de distribution, les soupapes automatiques ou desmodromiques (9), les robinets (10) et les tiroirs (11) plans ou cylindriques équilibrés (12).

La détente est souvent réglée automatiquement en fonction de la pression finale au compresseur. Tel est le cas des ma-

(1) Brevet anglais 1188 de 1880.
(2) *Ibid.* 4051 de 1882.
(3) *Ibid.* 4882 de 1885.
(4) *Ibid.* 5648 de 1886.
(5) *Ibid.* 1034 de 1877.
(6) *Ibid.* 4065 de 1880.
(7) *Inst. of Mechanical Eng.*, 4 janv. 1881.
(8) Brevet anglais 1873 de 1874.
(9) Inglis, Brevet anglais 3340 de 1877.
(10) Matthews, Brevet anglais 5648 de 1886.
(11) Haslam, Brevet anglais 1484 de 1880.
(12) Ellis, Brevet anglais 4882 de 1885.

chines de *Teal* et *Fryer* (1), de *Dugald Clerk* (2) et de *Wilson* et *Sturgeon* (3). Dans plusieurs machines, le détendeur est, en outre, pourvu d'un reniflard empêchant la pression d'y tomber au-dessous de celle de l'atmosphère.

Afin de réduire ses frottements au minimum, la soupape d'admission du détendeur de M. *Sturgeon* est maintenue sur son siège par un disque-membrane en acier, dont elle traverse le milieu.

Les soupapes des machines *Giffard* de 1877 reposent sur leur siège par une arête tranchante, coupant à chaque coup la glace qui tendrait à s'y déposer, et celles des machines de *Hesketh* sont disposées de manière à en faciliter le dégagement vers la boîte à neige, qui suit presque toujours immédiatement le détendeur (4).

Ces *boîtes à neige* (snow-box), utiles dans toutes les machines à air, sont indispensables à celles qui ne sont pas pourvues d'un refroidisseur-sécheur spécial; elles consistent essentiellement en une capacité faisant suite au détendeur, dans laquelle l'air refroidi dépose sa neige ou sa glace de condensation sur des surfaces rugueuses, pourvues de pointes (5), ou mieux disposées en chicanes (6). On a proposé, pour éviter les *snow-box* sans avoir recours aux moyens précités, divers artifices, tels que l'injection au détendeur d'air comprimé (7) ou de liquide incongelable (8). Ces moyens exceptionnels sont en général compliqués et préjudiciables au rendement de la machine.

Réfrigérant. — Le réfrigérant des machines à air ne présente guère de particularités intéressantes qu'en raison de ses

---

(1) Brevet anglais 3957 de 1879.
(2) *Ibid.* 3536 de 1881.
(3) *Ibid.* 91 de 1883.
(4) *Ibid.* 3989 de 1881.
(5) Sturgeon, Brevet anglais 91 de 1883.
(6) Hargreaves et Inglis, Brevet anglais 1747 de 1878.
(7) Northcott, Brevet anglais 4051 de 1882.
(8) Gorrie, Brevet anglais 13234 de 1850.

adaptations à des applications spéciales, dont la plus importante est la conservation des viandes, que nous étudierons dans un autre Chapitre.

Les réfrigérants des machines à cycle fermé sont parfois pourvus d'un reniflard ou d'un régulateur de pression, constitué, par exemple, comme celui de *Windhausen*, par une poche en caoutchouc jouant le rôle d'accumulateur (1).

Quelques inventeurs, *Williams* notamment, ont proposé, mais sans succès, d'opérer la réfrigération par la détente directe de l'air comprimé au travers d'un liquide incongelable (2) : il se produisait des commencements de congélation, et la majorité du travail de détente se dissipait hors du liquide ou par des remous qui le réchauffaient.

Principaux types de machines à air.

Windhausen (3). — La machine *Windhausen* de 1869 est à cycle fermé. L'air, comprimé par l'une des faces d'un long piston différentiel non conducteur, est détendu sur l'autre face après s'être refroidi dans deux séries de tubes rafraîchies l'une par un courant d'eau, l'autre par l'air froid revenant du réfrigérant ou dérivé directement du détendeur.

La machine de 1876 comprend deux cylindres à simple effet : un détendeur et un compresseur. L'air, aspiré du refroidisseur puis détendu, passe du bac à glace autour des tubes du refroidisseur, puis au compresseur qui le ramène à la pression de l'atmosphère où il l'expulse. Cet air, échauffé par la compression, peut être utilisé pour le chauffage ou la ventilation, et n'a pas besoin d'être refroidi par une injection ou par une circulation d'eau. Cet appareil, qui fonctionne par la création d'un vide au détendeur, est très encombrant, compliqué, et ne s'est pas répandu.

(1) Brevet anglais 669 de 1869.
(2) *Ibid.* 147 de 1853.
(3) Brevets anglais 669 de 1869, 3142 de 1873, 4762 de 1876.

Paul Giffard [1]. — La machine *Paul Giffard*, de 1877, se compose de deux cylindres à simple effet : un compresseur et un détendeur. L'air comprimé arrive au détendeur après avoir traversé un refroidisseur tubulaire, puis un réservoir, où il dépose la majeure partie de son eau. Les soupapes du détendeur sont commandées mécaniquement de manière à graduer à volonté la détente. On y retrouve les pistons à garnitures autoclaves et les soupapes décrites aux pages 140 et 141. Ces machines ont reçu quelques applications, notamment à bord des navires de la Compagnie *Peninsular Oriental*. Une des machines les plus importantes de ce système, à cylindres détendeurs et compresseurs de 500^{mm} et 625^{mm} de diamètre sur 500^{mm} de course, refroidit à — 35° 570^{mc} d'air par heure. Parmi les applications faites en France, on peut citer les machines installées dans la fabrique de chocolat de M. Menier, à Noisiel. L'air est, dans ces machines, insuffisamment desséché : c'est l'une des causes de leur peu de succès, malgré l'ingéniosité de leurs principaux détails de construction.

Bell-Coleman. — Les machines de MM. *Bell* et *Coleman* [2] sont destinées principalement au refroidissement et à la conservation des viandes par l'air froid (*voir* p. 190). Dans la machine de 1877, l'air comprimé est refroidi par une injection d'eau au compresseur d'abord, puis dans un saturateur à toiles perforées arrosées d'eau. De là, il traverse, pour se sécher, un antiprimeur à chicanes, qui est comme la contre-partie du saturateur, puis une série de tubes inclinés vers le fond de l'antiprimeur et parcourant sur une grande longueur la chambre froide. L'eau que l'air comprimé dépose dans ces tubes en se refroidissant s'évacue ainsi naturellement par le bas du

(1) Brevets anglais 627 de 1873, 2064 de 1875, 3108 de 1877. — LEDOUX, *Théorie des machines à air froid* (*Revue industrielle*, 1881, p. 233). — *Bulletin de l'Industrie minérale*, juin 1876. — *The Engineer*, 6 juillet, 17 août 1883.

(2) Brevets anglais 1034 de 1877, 3862 de 1878, 4191 de 1879, 638 de 1882, 5625 de 1881, 5507 de 1883. — *Inst. of Civil Engineers*; London, 14 février 1882. — J.-J. COLEMAN, *On air refrigerating machinery* (*The Engineer*, 9 sept. et 18 nov. 1887, p. 219 et 410; 14 avril 1882, p. 267).

sécheur. Au sortir de ces tubes, l'air refroidi et débarrassé de son excès d'eau passe au détendeur, qui l'envoie dans la chambre froide.

La machine de 1883, spécialement destinée aux navires, est remarquable par la compacité et l'harmonie de son ensemble. L'appareil, tout en double (moteur, compresseur et détendeur), est formé de deux mécanismes complets, qui peuvent fonctionner en compound ou indépendamment en cas d'accident à l'un d'eux. Le bâti qui les supporte renferme les pompes à air et le condenseur des cylindres à vapeur, ainsi que les boîtes à neige, disposées sous les détendeurs, où l'air passe avant d'arriver dans la chambre froide.

Les machines Bell-Coleman sont très répandues à bord des navires, notamment sur les lignes d'Australie, où elles donnent toute satisfaction.

Hall et *Lightfoot* [1]. — La plupart de ces machines sont verticales ou inclinées, avec cylindres à simple effet pour le compresseur et le détendeur, dérivant des dispositifs de Giffard. Les soupapes du détendeur sont desmodromiques. Un perfectionnement dû à M. Lightfoot consiste, comme nous l'avons déjà dit, à refroidir l'air, entre le compresseur et le détendeur, par une détente auxiliaire effectuée dans un petit cylindre, d'où il va, déjà refroidi, se débarrasser de la majorité de son eau dans un sécheur à chicanes. De là, l'air sec et refroidi passe au détendeur proprement dit, puis au réfrigérant.

La machine Lightfoot de 1882 est horizontale. La distribution est faite au compresseur et au détendeur par des robinets Corliss.

La machine Lightfoot de 1880, également horizontale, est spécialement étudiée pour le service des navires. Le compresseur a son cylindre intérieur formant enveloppe d'eau constitué par une chemise en bronze, plus conductrice que la fonte.

(1) Brevets anglais 4065 et 1110 de 1880, 1567 de 1881, 673 de 1882, 13089 de 1885. — *Inst. of Mechanical Engineers*, janv. 1881. — LIGHTFOOT (T.-B.), *On machines for producing cold air* (*Revue industrielle*, 15 juin 1881). — *The Engineer*, 1er octobre 1880, 14 avril 1882. — *Engineering*, 29 septembre 1882.

Les machines de MM. Hall et Lightfoot, parfaitement étudiées sur des modèles adaptés à un grands nombre de spécialités, sont très employées en Angleterre, principalement à bord des navires et pour la conservation des viandes. Elles sont remarquables par leur peu de volume et leur simplicité.

MACHINES A GAZ LIQUÉFIÉS PAR COMPRESSION.

Le principe des machines frigorifiques à gaz liquéfiés par compression est le même que celui des machines à air, à cela près que le gaz se liquéfie pendant la compression et se vaporise pendant la détente : elles sont comme l'inverse des machines motrices à vapeurs, et plus actives, moins encombrantes que les machines à air, parce que la chaleur spécifique en volume du gaz liquéfié est beaucoup plus considérable que celle de l'air. Il résulte de l'effet de cette chaleur spécifique, joint à celui de la chaleur de vaporisation, qu'il faut, pour modifier d'une certaine quantité l'énergie interne et la température d'un volume de vapeur par la compression, dépenser plus de travail que pour faire varier d'une quantité équivalente la température d'un même volume d'air, et réciproquement. C'est ainsi qu'il faudrait, dans les circonstances ordinaires de la pratique, environ 4000^{mc} d'air pour produire le même froid qu'avec un mètre cube d'acide sulfureux liquide, bien moins actif cependant que le gaz ammoniac et l'acide carbonique.

Cette activité des machines à gaz liquéfiables en augmente le rendement *organique* et la compacité ; elle constitue leur principal avantage qui, joint à l'absence des difficultés et des complications entraînées par la présence de l'humidité de l'air, les fait presque toujours préférer, dans les climats tempérés du moins, pour les installations fixes.

Quant à la liquéfaction du gaz, elle s'opère de deux manières, suivant que le gaz ou, plus exactement, la vapeur reste, pendant toute la durée de la compression, à l'état de *saturation* ou à l'état de *surchauffe*. Ce dernier régime, qui se rap-

proche de l'allure des machines à air, permet de réaliser des abaissements de température plus étendus, mais aux dépens du rendement, de sorte qu'il faut, en général, maintenir le plus possible le régime de saturation. On y arrive, à très peu près, du moins avec l'acide sulfureux et l'ammoniac, en n'exagérant pas la vitesse du piston et en refroidissant le compresseur par une circulation d'eau abondante : on peut assurer ce régime par l'injection d'un peu de gaz liquéfié à chaque aspiration dans le compresseur.

L'un des principaux détails qui distinguent les machines à gaz liquéfiables des machines à air est la *suppression* presque générale *du cylindre détendeur,* remplacé par un simple robinet plus ou moins ouvert entre le condenseur, ou liquéfacteur, et le réfrigérant. Cette simplification est légitime, parce que le travail de détente ainsi perdu en partie est très faible, à peine équivalent aux résistances passives que présenterait le cylindre détendeur, sauf avec l'acide carbonique.

Bien que la théorie exacte des machines à gaz liquéfiables ne soit pas encore établie, et que leur cycle s'écarte considérablement de celui de Carnot, on peut néanmoins leur appliquer les mêmes considérations générales qu'aux machines à air, et notamment cette loi : qu'entre les mêmes limites de températures, le rendement frigorifique, sensiblement indépendant de la nature du gaz employé, diminue à mesure que la chute de température augmente du compresseur au récipient. Le choix du gaz à employer dépendra principalement de son prix d'achat, des avantages de sa manipulation (innocuité, ininflammabilité, neutralité vis-à-vis des métaux) et de l'intérêt que l'on a de réduire l'encombrement des machines ou d'abaisser la température finale. Les principaux gaz proposés ou employés jusqu'ici sont l'*éther*, l'*acide sulfureux*, l'*éther méthylique*, l'*éthylène* (1), le *chlorure de méthyle* et l'*ammoniac :* nous signalerons, en même temps que nous examinerons les machines qui les utilisent, les principales propriétés de ces gaz, dont l'étude scientifique, de la plus haute importance pour leur application aux machines frigorifiques, est encore à faire.

---

(1) WROBLEWSKI, *Comptes rendus*, 21 juillet 1884, p. 136.

Nous décrirons d'abord sommairement les organes principaux communs à toutes les machines à gaz liquéfiés.

Principaux organes des machines à gaz liquéfiés par compression.

Les organes essentiels de toute machine à gaz liquéfiés par compression sont, comme pour les machines à air, au nombre de quatre :

Le *compresseur* ou la pompe;
Le *refroidisseur-condenseur* ou liquéfacteur;
Le *détendeur;*
Le *réfrigérant.*

Nous allons exposer les principales particularités de ces différents organes, qui, bien qu'essentiellement les mêmes dans les différentes machines, se distinguent néanmoins les uns des autres par de nombreux détails de construction, parfois très importants suivant la nature des gaz à liquéfier.

Compresseur. — Le compresseur peut être à simple ou à double effet, vertical ou horizontal. On y distingue comme éléments principaux :

Les *soupapes;*
Les *garnitures* ou stuffing-box;
Les *pistons;*
Les *moyens de refroidissement.*

Les compresseurs à double effet sont les plus employés; on les place ordinairement dans le prolongement des cylindres des moteurs à vapeur horizontaux qui les actionnent directement. Ils sont plus actifs et moins chers que les compresseurs à simple effet; c'est pour cela qu'on les emploie de préférence : mais les cylindres horizontaux s'usent plus vite, parce qu'ils s'ovalisent. Les joints et garnitures des cylindres à double effet, soumis à la pression de liquéfaction et plus difficiles à maintenir étanches, absorbent un travail de frottement plus considérable.

Les compresseurs à simple effet sont presque toujours verticaux; les soupapes d'aspiration et de refoulement sont ordinairement placées dans le haut, de sorte que le stuffing-box n'est jamais au contact direct du gaz à comprimer, et n'a guère à se défendre que des fuites du piston. Les compresseurs à simple effet sont le plus souvent au nombre de deux, accouplés par manivelles à 180°, et disposés de façon que l'avarie de l'un n'entraîne pas l'immobilisation de l'autre. Malgré leur prix plus élevé et leur encombrement plus assujettissant, les compresseurs verticaux commencent à se répandre beaucoup (*Vincent, Fixary, Lavergne, Windhausen*), parce que leur conduite est plus facile, leur entretien moins onéreux et leur durée plus prolongée. Rien ne s'oppose d'ailleurs à ce qu'on les fasse à double effet, mais, à notre avis, sans aucun avantage réel (1).

Soupapes. — Les soupapes les plus fréquemment employées sont en fer ou en acier, coniques et à ressort : leurs mouvements sont presque toujours automatiques, c'est-à-dire déterminés par la pression même des gaz, rarement desmodromiques, comme dans les machines à éther de *Harrison* (2) et de *Dubern* (3).

Il importe que ces soupapes, celles du refoulement surtout, fonctionnent sans chocs. On évite ce choc en les munissant d'un amortisseur ou *dash-pot* gazeux, comme dans les machines de *Pictet*, de *Quiri* et de *Wood* (4), ou liquide comme dans celles de *Lavergne* (5). Dans cette dernière machine, la soupape de refoulement occupe seule tout le haut du compresseur : elle fonctionne dans un bain d'huile dont elle force une partie à s'écouler, lors de sa levée, au travers d'orifices étran-

---

(1) Exemple : la machine de l'*Arctic* a un seul cylindre de 430mm × 1m faisant 40 tours par minute et 45 tonnes de glace par jour (*Engineering*, 8 février 1889)

(2) Brevet anglais 2362 de 1857.

(3) *Ibid.* 4579 de 1882.

(4) Brevets anglais 16558 de 1884 et 14606 de 1886. — *The Engineer*, 4 février 1887.

(5) *Revue industrielle*, 28 juillet 1888.

glés, qui en amortissent le lancé par leur résistance. Une disposition analogue avait été proposée, en 1882, par MM. *Wood* et *Richmond* ([1]) : le piston chargé d'huile soulevait par la compression du gaz une soupape annulaire faisant cloche au-dessus du cylindre, et ramenée par l'élasticité d'un tampon de caoutchouc. Les soupapes doivent être, en outre, parfaitement accessibles : celles des machines de *Kilbourn* ([2]), *Fixary* ([3]), *Lavergne, Quiri* et *Wood* satisfont pleinement à cette condition importante. Les soupapes des machines *Wood* sont enfermées dans des chapeaux qu'il suffit de dévisser pour avoir le tout dans la main (soupape, ressort, *dash-pot* et siège); elles peuvent, en outre, se régler très facilement en tournant de l'extérieur l'écrou de leur ressort ([4]).

On a quelquefois, dans certaines machines à éther, notamment dans celles de *Blée* ([5]), cherché à diminuer le travail d'aspiration en équilibrant les soupapes; mais c'est une complication plus nuisible qu'utile.

Il faut, en tout cas, toujours munir, dans les machines verticales surtout, les soupapes d'aspiration d'un étrier ou d'un écrou de sûreté, empêchant, comme dans les machines de *Wood* ([6]) et de *Fixary*, la chute de la soupape en cas de rupture de son ressort ou de sa tige, et leur assurant ainsi presque autant de sécurité qu'aux distributeurs desmodromiques. Nous ferons remarquer incidemment, à ce propos, que les machines verticales commandées par courroies présentent, à cause de leur moindre volant, en ce qui concerne les ruptures par obstruction accidentelle des cylindres, plus de sécurité que les compresseurs horizontaux rigidement reliés au moteur à vapeur.

Stuffing-box. — Le stuffing-box est, en sa qualité de joint mobile, le plus difficile à tenir, principalement dans les compresseurs à double effet, où il est soumis à toute la pression

---

([1]) Brevet anglais 5798.
([2]) *Engineering*, 20 octobre 1882.
([3]) HATON DE LA GOUPILLIÈRE, *Cours de machines*, p. 888.
([4]) *The Engineer*, 4 février 1887.
([5]) Brevet anglais 3005 de 1861.
([6]) *Ibid.* 7824 de 1885.

du refoulement. La solution la plus anciennement employée consiste à faire le stuffing-box double, et à ménager entre les deux garnitures un espace en communication avec l'aspiration du compresseur. Les fuites qui échappent à la première garniture sont ainsi récupérées par l'aspiration même du compresseur, et la seconde garniture n'a plus à résister qu'à la pression d'aspiration. Cette pression, négative dans le cas des machines à éther, n'est que de 1^{kg} à $1^{kg},5$ absolus pour les machines à gaz ammoniac, mais elle est déjà très élevée pour les machines à acide carbonique; aussi M. *Raydt* a-t-il fait rendre les fuites de sa première garniture non pas dans l'aspiration du compresseur, mais dans un petit gazomètre spécial, qui les restitue de temps en temps à la circulation ([1]). Pour les machines à ammoniac, les garnitures sont presque toujours à joint d'huile, c'est-à-dire constituées en grande partie par un bain ou par une gaîne de pétrole, dont une fraction passe, à chaque coup du compresseur, dans la circulation du graissage; tel est le cas des machines de *Linde, Wood, Lavergne.* On en retrouve un exemple remarquable dans la machine à éther méthylique de *Tellier* ([2]). Comme cas particulier, je citerai celui des machines verticales de *West,* dont les compresseurs, les bielles et les manivelles sont entièrement enfermés dans une enveloppe pleine d'huile; les cylindres des compresseurs n'ont aucune garniture et plongent dans cette huile; le stuffing-box est reporté à la pénétration de l'arbre moteur dans l'enveloppe générale, qui rend malheureusement le mécanisme inaccessible ([3]).

M. *Fixary* a donné, de cette question, une solution générale beaucoup plus simple, qui consiste à entourer la gaîne d'huile du stuffing-box d'une dérivation du gaz ammoniac détendu suffisante pour la congeler en partie : l'huile forme alors autour de la tige du piston un *joint pâteux,* absolument imperméable et sans frottement; on donne, en outre, à ce joint, dans les compresseurs horizontaux, une longueur un peu plus grande

---

([1]) Brevet anglais 15475 de 1884.
([2]) PÉCLET, *La Chaleur,* t. III, p. 158.
([3]) Brevet anglais 3964 de 1887.

que celle de la course du piston, de manière que les parties de la tige qui pénètrent dans le compresseur ne voient jamais l'atmosphère.

Pistons. — Les pistons sont presque toujours pourvus d'une garniture à plusieurs segments analogues à ceux des machines à vapeur. Dans la plupart des machines verticales, les pistons sont surmontés d'une couche d'huile qui, pénétrant en partie sous la soupape de refoulement, supprime les espaces nuisibles en même temps qu'elle lubrifie le cylindre et concourt à l'étanchéité du piston. Dans les machines de *Lavergne*, cette couche d'huile, introduite au-dessus du piston par la soupape d'aspiration, est très épaisse, et les segments ne sont pas tout à fait étanches, de manière que la majeure partie de l'huile s'écoule, pendant la montée du piston, entre sa garniture et les parois du cylindre : le restant passe, par la soupape de refoulement, dans la circulation de graissage. On réalise ainsi un piston parfaitement étanche, à frottement réduit, et dont la garniture d'huile absorbe, comme le joint pâteux de *Fixary*, une partie de la chaleur de compression. On peut employer avantageusement, pour les hautes pressions surtout, des pistons liquides analogues à ceux des compresseurs *Sommeiller* : on retrouve cette solution dans certaines machines horizontales de *Kilbourn* (1); dans celles de *Lebrun* (2) et dans les machines à acide carbonique de *Windhausen* (3). Dans ces derniers appareils, comme dans ceux de *Gamgee* (4), la compression se fait en deux fois. Commencée par une face sèche du piston, elle s'achève, au retour, par une masse d'eau glycérinée, que la face arrière de ce piston refoule jusqu'aux soupapes d'évacuation, et dont une partie forme la garniture hydraulique du stuffing-box. C'est une solution ingénieuse des liquéfactions à haute pression. M. *Raydt* a préféré employer un piston plongeur très long, rafraîchi intérieurement

(1) Brevet anglais 2356 de 1879.
(2) *Gazette du Brasseur*, 19 février 1888.
(3) Brevets anglais 2548, 2549 de 1888.
(4) Brevet anglais 4065 de 1877.

par une circulation d'eau [1]. Nous citerons, comme cas extrême de ce genre, le compresseur de *Beylih'g* [2] dont le piston est constitué par une masse de mercure, et celui de *Mac Millan*, où la compression s'opère graduellement par le refoulement d'eau glycérinée dans un long cylindre en tôle [3]. On peut affirmer, tout en reconnaissant l'ingéniosité de quelques-unes de ces solutions, qu'elles ne sont pas nécessaires avec les pressions modérées correspondant à la liquéfaction de l'ammoniac par exemple, pressions que soutiennent parfaitement, dans les machines horizontales à double effet, les garnitures ordinaires à segments.

Refroidissement. — Bien qu'il soit facile, ainsi que l'ont démontré de nombreux diagrammes pris notamment sur des machines *Linde* [4], de conserver le régime de saturation rien que par une enveloppe d'eau, plusieurs inventeurs, notamment *Wood* [5] et *Puplett* [6], ont appliqué avec succès, comme moyen de refroidissement, l'injection d'une certaine quantité de gaz liquéfié pulvérisé dans le compresseur. Dans la machine de *Wood*, le gaz aspiré du réfrigérant à la pompe rencontre à angle droit un petit jet d'ammoniac liquide pulvérisé au-dessus de la soupape d'aspiration. Dans la machine de *Puplett*, c'est au moyen d'un petit tiroir que l'on injecte, au commencement de la compression, du gaz liquéfié du condenseur au compresseur. Nous ne savons pas si l'on a essayé ce mode de refroidissement sur les machines à acide carbonique, et nous manquons d'expériences comparatives pour en apprécier l'effet. Dans la machine *Fixary*, le joint congelé contribue à refroidir le compresseur, comme le bain d'huile des machines *Lavergne*, le piston liquide de *Windhausen* et le plongeur à circulation d'eau de *Raydt;* et l'application de ces divers moyens paraît parfaitement suffisante.

---

(1) Brevet anglais 15475 de 1884.
(2) *Ibid.* 3062 de 1864.
(3) *Ibid.* 3333 de 1881.
(4) *The Engineer*, 11 fév. 1887, p. 107.
(5) Brevets anglais 5798 de 1882, 9547 de 1886.
(6) Brevet anglais 12543 de 1884.

Espaces nuisibles. — Nous avons vu comment on peut supprimer complètement les espaces nuisibles au moyen de pistons liquides ou chargés d'huile : ce moyen, spécialement applicable aux machines à simple effet verticales, est le plus employé; mais on peut aussi, en donnant aux pistons une forme sphérique épousant celle des fonds des cylindres, arriver à réduire à presque rien les espaces nuisibles. Le plongeur de *Raydt* vient buter à fond de course sur la soupape de refoulement, qui occupe presque tout l'arrière du cylindre horizontal. Nous ne citerons que pour mémoire la solution proposée par M. *Blée* (1), qui consiste essentiellement à donner à la crosse une course plus longue que celle du piston qui lui est relié par un ressort.

Condenseur ou liquéfacteur. — Les condenseurs sont constitués, en général, par des faisceaux de tubes droits ou de serpentins traversés par le gaz à liquéfier et entourés par l'eau de refroidissement ou de circulation. Les tubes sont en cuivre ou en fer pour les machines à éther et à acide sulfureux, en fer ou en acier pour le gaz ammoniac et l'acide carbonique.

Les serpentins doivent être multiples et disposés de façon que l'avarie de l'un d'eux ne puisse pas entraîner l'arrêt de la machine pendant longtemps : les tubes droits réalisent au plus haut degré ce desideratum, mais ils exigent, aux plaques tubulaires, de nombreux joints, analogues à ceux des condenseurs à surfaces, et qui tiennent difficilement les hautes pressions. Avec les serpentins, le nombre de ces joints est très réduit. M. *Kilbourn* les rend absolument étanches en serrant les bouts des tubes rabattus au moyen d'un écrou vissé dans un trou fraisé de la plaque du condenseur, sur lequel on applique ensuite une soudure à l'étain (2) maintenue elle-même par une gorge venue dans la plaque tout autour du tube et de son écrou.

Les tubes du condenseur de M. *Puplett* sont en U, libres de

---

(1) Brevet anglais 3005 de 1861.
(2) *Ibid.* 5070 de 1882.

se dilater sans contrainte, et divisés en deux groupes, dont le premier reçoit à l'intérieur des tubes l'ammoniac du compresseur, tandis que le second groupe reçoit ce même ammoniac autour des tubes parcourus par l'eau de refroidissement, qui circule en sens inverse (1).

M. *Pictet* a proposé l'emploi d'une série de serpentins plats verticaux, débouchant chacun dans deux tubes maîtres horizontaux, sur lesquels ils sont emmanchés par des joints faciles à surveiller, et où les gaz circulent méthodiquement (2); le grand volume des tubes collecteurs faciliterait, d'après M. Pictet, la liquéfaction des gaz. M. *Quiri* a proposé aussi, pour sa machine à liquides hétérogènes, un condenseur à tubes en U (3). Le condenseur de M. *Wood* est formé d'un certain nombre de serpentins reliés au compresseur par un distributeur dont on peut les isoler séparément en cas d'avaries à l'un d'eux (4). Ces serpentins ne sont pas plongés dans une circulation d'eau, mais exposés à l'air libre à une mince chute d'eau, comme les appareils bien connus de *Baudelot*. C'est un mode de refroidissement que l'on emploie volontiers aux États-Unis; on le retrouve dans les machines de *Lavergne* (5) combiné parfois avec l'addition d'un condenseur auxiliaire refroidi par le retour de l'ammoniac gazeux détendu autour de ses tubes (6).

Cette utilisation du froid des gaz dans des condenseurs auxiliaires n'a pas grande raison d'être avec l'ammoniac, dont les pressions n'ont rien d'excessif, mais il n'en est pas de même avec l'acide carbonique. Aussi M. *Raydt* a-t-il, à notre avis, bien fait d'entourer la liquéfacteur de sa machine d'un bain refroidi par le retour de l'acide carbonique à l'aspiration du compresseur (7).

Une solution analogue consiste, comme le fait M. *Puplett*,

---

(1) Brevet anglais 12541 de 1884.
(2) *Ibid.* 16558 de 1884.
(3) *Ibid.* 14606 de 1886.
(4) *Ibid.* 9547 de 1886.
(5) *Revue industrielle*, 28 juillet 1888.
(6) Brevet anglais 4352 de 1880.
(7) *Ibid.* 15475 de 1884.

à prolonger les tuyaux du condenseur dans le bain du bac à glace ([1]). Dans aucun cas l'on n'augmente le rendement de la machine, mais on diminue la fatigue du compresseur.

On a souvent proposé d'activer l'action des condenseurs en faisant traverser au gaz un espace annulaire entre deux tubes noyés dans une circulation d'eau, ou en contrariant sa marche par une série de chicanes multipliant les surfaces refroidissantes, comme dans les machines à éther de *Harrison* ([2]) et dans certaines machines à ammoniac de *Wood* ([3]), mais ces dispositions entraînent d'ordinaire à des complications et à des difficultés d'entretien hors de proportion avec leur utilité spéciale — notamment en ce qui concerne les fuites.

Le mode de refroidissement du condenseur le plus employé consiste, comme nous l'avons vu, en une circulation ou en une aspersion d'eau ; c'est d'ailleurs le plus simple et le plus efficace, aussi me bornerai-je à signaler seulement deux procédés particuliers proposés par MM. *Beylih'g* ([4]) et *Ballantine* ([5]). Les tubes du condenseur de M. Beylih'g sont refroidis par la vaporisation que provoque l'action d'un courant d'air lancé par un ventilateur sur des canevas mouillés qui entourent les tubes. Dans le condenseur de Ballantine, on fait agir la vaporisation d'eau pulvérisée par un certain nombre d'injecteurs à air comprimé.

Dans certaines machines à éther, comme celle de *Harrison*, on peut activer la condensation par un jet d'éther refroidi agissant comme l'eau d'un condenseur à injection ; mais ce mode de condensation ne présente aucun avantage.

Enfin, lorsque l'on ne dispose que d'une quantité limitée d'eau pour la condensation, on peut employer presque toujours la même eau, en la refroidissant par son passage en pluie dans un courant d'air; on ne perd ainsi que l'eau vaporisée par ce courant d'air. M. *Richmond* a proposé un vaporisateur-

---

([1]) Brevet anglais 14378 de 1887.
([2]) *Ibid.* 383 de 1874.
([3]) *Ibid.* 5798 de 1882.
([4]) *Ibid.* 3062 de 1864.
([5]) *Ibid.* 3121 de 1880.

refroidisseur de ce genre bien étudié et susceptible de rendre service dans certains cas ([1]).

Détendeur. — Dans la plupart des machines à gaz liquéfiés, le détendeur consiste en un simple robinet à pointe graduée, interposé entre le condenseur et le réfrigérant, le plus près possible du réfrigérant. On peut rendre la manœuvre de ce robinet automatique en le commandant, comme l'a proposé M. *Wood* ([2]), par un mécanisme servo-moteur fonction de la pression du réfrigérant; mais c'est une grande complication pour peu de chose. Avec l'acide carbonique, qui comporte une grande différence de pression entre le condenseur et le réfrigérant, une soupape différentielle suffit, comme l'a proposé M. *Windhausen* ([3]), ou mieux encore, ainsi que cet inventeur le fait pour ses nouvelles machines ([4]), l'interposition, entre le condenseur et le réfrigérant, d'un cylindre détendeur, dont le travail de détente est restitué au compresseur, comme dans les machines à air. Dans les machines à éther, on a parfois employé avec succès, comme organe de détente automatique, une soupape flottante ouvrant le détendeur dès que le niveau de l'éther atteint une certaine hauteur au bas du condenseur ([5]).

Robinetterie, tuyauterie. — La robinetterie des machines à compression doit être très soignée; celle des machines à gaz ammoniac, qui exclut l'emploi du laiton et du bronze, doit être exécutée en fonte de prémier choix ou en fer et en acier. Parmi les solutions proposées pour assurer l'étanchéité parfaite de ces robinets, je citerai les robinets à garnitures d'huile de *Wood* ([6]) et à clefs calées de *Kilbourn* ([7]) dont le boisseau est forcé par un contre-écrou qu'il faut desserrer pour ouvrir le robinet.

---

(1) Brevet anglais 5798 de 1882.
(2) *Ibid.* 5798 de 1882.
(3) *Ibid.* 2864 de 1886.
(4) *Ibid.* 2549 de 1888.
(5) HARRISON, Brevet anglais 747 de 1856.
(6) Brevet anglais 9547 de 1886.
(7) *Ibid.* 5070 de 1882.

La tuyauterie doit être aussi de première qualité, en cuivre étiré pour certains gaz, en fer ou en acier pour l'ammoniac; on doit éviter les coudes brusques. Comme joints, on peut citer ceux de *Kilbourn*, à double écrou et manchon serrés sur plomb, et ceux de *Lavergne*, à manchon soudé ([1]) ou à brides vissées, soudées et serrées sur plomb.

Graissage. — Le graissage se fait, pour l'ammoniac et l'acide carbonique, par une circulation d'huile minérale, presque toujours automatique. On sépare l'huile du gaz refoulé avec elle au moyen d'un égoutteur analogue aux sécheurs des chaudières à vapeur [appareils *Kilbourn* ([2]), *Wood* ([3]), *Fixary*]. Dans quelques machines *Lavergne* ([4]) l'huile est séparée de l'ammoniac au sortir du compresseur par un chauffage qui en dégage les gaz dissous, puis refroidie et passée dans un second séparateur à chicanes avant de revenir au compresseur.

Réfrigérant. — Le réfrigérant est comme la contre-partie, la réciproque du compresseur. Le plus souvent, il se borne à refroidir un liquide incongelable convenablement agité autour des tubes ou des serpentins dans lesquels se détend le gaz liquéfié; mais les formes du réfrigérant varient considérablement suivant le but qu'il doit remplir, ou suivant ses adaptations, que nous étudierons en parlant des applications des machines frigorifiques. Les tubes et les serpentins du réfrigérant se prêtent, pour les mêmes raisons, aux mêmes spécialisations que ceux des condenseurs. On y retrouve, comme aux condenseurs, les tubes soit droits, soit en U greffés sur deux collecteurs supérieurs (*Pictet*) ([5]), et les serpentins sectionnés (*Wood*) ([6]) ou annulaires (*Harrison*) ([7]). La méthode la plus pratique consiste, pour les grands réfrigérants surtout, à con-

([1]) *Revue industrielle*, 28 juillet 1888.
([2]) *Engineering*, 20 octobre 1882.
([3]) Brevet anglais 9547 de 1886.
([4]) *Ibid.* 14095 de 1887.
([5]) *Ibid.* 12631 de 1887.
([6]) *Ibid.* 5798 de 1882.
([7]) *Ibid.* 383 de 1874.

stituer les serpentins par une série de longs tubes droits, reliés par des coudes à brides. L'agitation du liquide à refroidir est produite, le plus souvent, par une turbine placée au fond du bac, à l'un des bouts du réfrigérant. Les tubes en cuivre, en fer ou en acier sont lisses : il y aurait peut-être intérêt à essayer l'effet de tubes à *ailerons* ou à rondelles, permettant d'augmenter la surface réfrigérante tout en diminuant le nombre des tubes et des joints.

Principaux types de machines à gaz liquéfiés.

Machines à éther. — L'éther sulfurique a des tensions de vapeur très faibles : 0,6 atmosphères à 20°. Son point d'ébullition à la pression atmosphérique est de + 35°, et sa chaleur de vaporisation de 90^{cal} seulement. Il exige donc des cylindres très grands, trois fois plus grands que ceux des machines à gaz ammoniac. De là un encombrement fâcheux et un rendement organique moindre. La puissance indiquée au cylindre de la machine à vapeur est souvent égale au double du travail du compresseur ([1]). Enfin, l'éther est très inflammable : on cite plusieurs incendies attribués à son emploi. Ses basses pressions au bac à glace et à l'aspiration nécessitent des précautions spéciales pour éviter les rentrées d'air.

Ces inconvénients font que la machine à éther, l'une des premières adoptées en raison de ses basses pressions ([2]), est presque abandonnée aujourd'hui que les progrès de la mécanique permettent de maîtriser parfaitement les pressions plus élevées correspondant à la liquéfaction de l'acide sulfureux et du gaz ammoniac.

La machine à éther ne semble plus offrir qu'un intérêt historique; sauf pour les petites installations dans les pays chauds, où ses basses pressions présentent des avantages particuliers ([3]).

([1]) LIGHTFOOT, *Refrigerating Machinery* (*Inst. of Mechanical Engineers*, mai 1886, p. 214).
([2]) PERKINS, Brevet anglais 6662 de 1834.
([3]) *Atlas Engine C°* (*Engineering*, 4 juillet 1879, p. 13).

On peut citer, parmi les fabricants et inventeurs de machines à éther : MM. *Perkins* (1), *Harrison* (2), *Dubern* (3), *Siebe* et *Gorman, Seddeley-West* (4) et *Mackey*, en Angleterre, et M. *Carré* en France (5). On peut compter, avec les bonnes machines à éther, sur une production de glace d'environ 12kg par cheval indiqué au compresseur, ou de 8kg à 9kg par kilogramme de charbon (6).

Éther méthylique. — L'éther méthylique (C^3H^3O) se produit en faisant agir à 120° de l'acide sulfurique concentré sur de l'alcool méthylique (esprit de bois).

Cet éther se liquéfie à 15° sous une pression de 4atm, et à — 30° sous la pression atmosphérique. Il n'attaque pas le fer ni les bronzes, mais il est inflammable, et sa chaleur de vaporisation est relativement faible : 200cal.

M. *Ch. Tellier* (7) a construit, vers 1871, des machines à glace très ingénieuses fondées sur l'emploi de cet éther alternativement liquéfié puis détendu; parmi les détails remarquables de ces machines, il faut signaler la circulation d'huile avec égoutteur-séparateur et le stuffing-box du compresseur horizontal à double effet. Ce stuffing-box était rendu étanche par une garniture d'huile en communication avec l'aspiration du retour, afin de récupérer les fuites de l'éther dans l'huile.

Les machines de M. Tellier ne se sont pas répandues, et leur ingénieux inventeur paraît lui-même les avoir abandonnées pour la recherche de nouveaux appareils à absorption (ammoniaque ou triméthylamine) fonctionnant par la vapeur d'échappement des machines motrices. Il est regrettable que M. Tellier n'ait pas persévéré plus longtemps dans l'étude des machines

(1) Brevet anglais 6662 de 1834.
(2) Brevets anglais 747 de 1856, 2362 de 1857, 383 de 1874.
(3) Brevet anglais 4579 de 1882.
(4) LIGHTFOOT, *Refrigerating Machinery*, p. 213. — *Iron*, 16 juil. 1880, p. 40.
(5) PÉCLET, *La Chaleur* (Édit. Hudelo), t. III, p. 156.
(6) LIGHTFOOT, *Inst. of Mech. Eng.*, mai 1886, p. 215.
(7) Brevets anglais 387 de 1864, 368 de 1869. — *Annales industrielles*, 10 septembre 1871. — PÉCLET, *La Chaleur* (Édit. Hudelo), t. III, p. 160.

à compression, qu'il avait abordée avec un remarquable talent.

Chlorure de méthyle. — Le chlorure de méthyle bout à — 23° sous la pression de l'atmosphère : sa pression de liquéfaction atteint $2^{kg},50$ à 0° et $4^{kg},8$ à 20°. Il est donc, comme énergie frigorifique, comparable à l'acide sulfureux, dont il ne possède pas les propriétés toxiques. Il n'attaque pas les métaux, mais il est inflammable, sans présenter toutefois les mêmes dangers que l'éther.

L'emploi du chlorure de méthyle a été préconisé par M. *Vincent*, qui en a découvert une préparation industrielle (1). M. *Crespin* construit de ces machines de toutes dimensions, depuis les appareils domestiques (2) jusqu'aux plus grandes forces. Une installation importante de machines Vincent — 100000^{cal} — fonctionne à la raffinerie parisienne pour le refroidissement des jus de sucrate de strontiane (3). Les machines de M. Vincent sont, en général, verticales, avec deux compresseurs à simple effet munis d'un récupérateur de fuites par l'aspiration.

Machines à acide sulfureux. — L'acide sulfureux se liquéfie sous la pression atmosphérique à la température de — 10° : à 30°, sa pression de liquéfaction est de $4^{atm}\frac{1}{2}$. Sa chaleur de vaporisation est de 100^{cal} environ. Dans les grandes machines, le piston du compresseur doit engendrer environ $1^{mc}\frac{1}{2}$ par minute et par kilogramme de glace à l'heure.

L'acide sulfureux présente donc l'avantage d'une pression de liquéfaction suffisamment basse pour pouvoir s'employer sans inconvénients dans les pays chauds; de plus, il n'est pas inflammable et graisse naturellement le compresseur. En revanche, la moindre trace d'eau forme de l'acide sulfurique, qui détériore rapidement les mécanismes, et la préparation de l'acide sulfureux liquide exige des appareils très compliqués, de sorte que l'acheteur ne peut pas fabriquer lui-même le corps travailleur dont dépend la marche de sa machine.

(1) *Bulletin de la Société Chimique*, t. XXXI.
(2) Brevet anglais 470 de 1879. — *Revue industrielle*, 18 février 1879.
(3) *Revue industrielle*, 26 août 1886.

C'est à M. *R. Pictet* [1] que l'on doit le développement de la machine frigorifique à acide sulfureux. Le cycle et l'ensemble de sa machine sont les mêmes que ceux de toutes les machines à liquéfaction : parmi ses principaux détails de construction, il faut citer la garniture du stuffing-box double, avec récupération des fuites par l'aspiration au compresseur, les soupapes silencieuses avec *dash-pots* amortisseurs des chocs, les réfrigérants à tubes en U avec grandes surfaces rayonnantes. Les tubes des condenseurs peuvent être en fer ou en cuivre; on emploie de préférence le cuivre, plus conducteur et plus sûr. Les machines Pictet fonctionnent avec succès et en grand nombre, principalement en France et dans les pays chauds. On peut compter sur un rendement d'environ 2500^{cal} négatives par cheval-heure indiqué.

M. Pictet construit, outre ses grandes machines, de petits appareils destinés à produire de 5^{kg} à 20^{kg} de glace à l'heure. Ces appareils, bien groupés et pourvus d'un récupérateur de fuites ingénieux, ont, comme presque tous les dispositifs analogues, l'inconvénient de coûter relativement très cher [2].

Nous citerons, parmi les machines à acide sulfureux autres que celles de *Pictet*, la machine de *Reece* [3] et celle de *Mackay*, remarquable par son stuffing-box à circulation d'huile [4], mais dont nous ne connaissons pas d'applications.

Quant à l'acide sulfureux, M. *Pictet* le prépare par la méthode de *Melsens*, en faisant agir à 400° environ de l'acide sulfurique sur de la vapeur de soufre. Il faut employer 5^{kg} d'acide sulfurique à 66° et 1^{kg} de soufre pour produire 6^{kg} d'acide sulfureux [5].

Machines à gaz ammoniac. — Le gaz ammoniac liquéfié est actuellement le corps réfrigérant de beaucoup le plus em-

---

(1) Brevets anglais 2727 de 1875, 16558 de 1884, 12631 de 1887. — *Nouvelles machines frigorifiques*. Genève, 1885. — *Comptes rendus*, 9 février 1885.

(2) Brevets anglais 1420 de 1882, 16556 de 1884. — *Revue industrielle*, 4 octobre 1882.

(3) Brevet anglais 2483 de 1865.

(4) *Ibid.* 4645 de 1888.

(5) *Ibid.* 2727 de 1875.

ployé non seulement dans les machines à affinité, où son usage est presque exclusif, mais aussi dans les machines à compression, où il rencontre de nombreux concurrents.

La raison principale de cette préférence est que le gaz ammoniac peut se préparer très facilement en partant de l'ammoniaque du commerce, et que ce gaz, tout en développant sous un faible volume des puissances frigorifiques considérables, n'entraîne pas, aux températures habituelles de nos climats, des pressions trop élevées, — 12^{atm} à 30° —.

Entre les mêmes températures — 15° et 18° — une même machine donnerait théoriquement, par mètre cube aspiré au compresseur,

Avec l'ammoniaque..............	560^{cal}	négatives.
Avec l'acide sulfureux...........	200	»
Avec l'éther sulfurique..........	30	»

Le rendement théorique serait le même : de $0^{cal},0184$ par kilogrammètre indiqué au compresseur (1). Entre — 30 et + 18°, ce rendement tombe à $0^{cal},00928$. Mais ces rendements ne sont jamais atteints dans la pratique, car il ne faut pas compter, même avec les meilleures machines, sur une production de glace supérieure à 25^{kg} ou 30^{kg} par kilogramme de charbon.

Bien que les opérations thermiques ou le cycle soient théoriquement les mêmes dans les deux genres d'appareils, l'expérience paraît avoir démontré la supériorité pratique des machines à compression sur les machines à affinité, qui consomment, comme nous le verrons, plus d'eau, et d'après M. Kilbourn, une fois et demie plus de vapeur (2).

C'est à M. *Linde* que revient en grande partie l'honneur d'avoir fait prendre à la machine à gaz ammoniac le rang qu'elle occupe aujourd'hui dans l'industrie (3). Les machines de M. Linde sont très répandues, principalement en Allemagne. Parmi les détails de construction, il faut citer le stuffing-box à

(1) LEDOUX.

(2) *Engineering*, 28 octobre 1881, p. 427.

(3) C'est néanmoins à M. CARRÉ que l'on doit l'une des premières machines à ammoniac (1864).

garniture de glycérine circulant sous une pression plus élevée que celle de l'ammoniac comprimé. Un essai fait à Munich, en 1886, sur une machine à glace Linde de 1000 kilogrammes à l'heure, a donné les résultats suivants :

Production de glace à l'heure.............		1650^{kg}
Chaleur utilisée à faire la glace, par heure (c)		183000^{cal}
Puissance indiquée, non compris le travail de la pompe de circulation et de la manutention des mouleaux (a)..............		53 chevaux
Puissance indiquée au compresseur d'ammoniac (b)..........................		38 »
Rapports......................	$\frac{a}{b}$,	1,53
	$\frac{c}{b}$,	7,5.
Glace par kilogramme de charbon avec une vaporisation de 8^{kg} par kilogramme de houille..............................		$26^{kg},3$

Le compresseur à double effet était actionné directement par une machine Sulzer, dépensant $9^{kg},90$ de vapeur par cheval indiqué. La machine Linde produisait donc, comme la plupart des bonnes machines à ammoniac, 31^{kg} de glace environ par cheval indiqué au moteur, et $43^{kg},5$ par cheval indiqué au compresseur : c'est ce dernier chiffre qui donne le véritable rendement (1).

Les machines de *Kilbourn* (2) sont presque toujours verticales, à deux cylindres et à simple effet. Au bas, les cylindres communiquent librement par un bain d'huile qui recouvre les stuffing-box. Les enveloppes des soupapes d'aspiration et de refoulement, placées au haut des cylindres, sont entièrement baignées d'eau. Le dessus du piston porte une garniture d'huile qui supprime tout espace nuisible. Les fuites d'ammoniac aux stuffing-box, très faibles d'ailleurs, sont renvoyées à l'aspiration des pompes. Le condenseur vertical est pourvu d'un agi-

(1) LIGHTFOOT, *On Refrigerating Machinery*, p. 218 (*Inst. of Mechanical Engineers*, mai 1886).

(2) Brevets anglais 2356 de 1879 et 5070 de 1882. — *Engineering*, 20 octobre 1882 et 28 mai 1886.

tateur hélicoïdal. Comme détails de construction, nous rappellerons les robinets à serrage calé, les joints des tuyaux et des plaques de condenseurs, déjà cités à la page 156. Ces machines fonctionnent avec d'excellents résultats, notamment à la brasserie de MM. Meux et Cie, à Burton, où elles ont remplacé des machines à chlorure de méthyle dont les cylindres étaient deux fois plus grands.

La machine de *Lavergne* et *Mixer* [1] est très répandue aux États-Unis. Les cylindres compresseurs, verticaux et à simple effet, sont montés sur un bâti perpendiculaire à celui de la machine à vapeur horizontale qui en actionne directement les pistons. L'ammoniac passe du refoulement des compresseurs dans un premier séparateur d'huile, puis dans un condenseur refroidi extérieurement, comme un Baudelot, où il se liquéfie et se recueille dans un liquéfacteur. Du liquéfacteur, l'ammoniac passe au bac à glace, après avoir traversé un second séparateur d'huile. L'ammoniac détendu retourne à l'aspiration des pompes au travers de quelques tuyaux disposés à la partie supérieure du condenseur, de manière à refroidir l'eau qui s'y déverse.

Le piston du compresseur est pourvu d'une soupape s'ouvrant de bas en haut, et la partie inférieure du cylindre renferme un bain d'huile d'une épaisseur telle qu'elle passe en partie par la soupape, au-dessus du piston quand il arrive au fond de course. L'ammoniac aspiré pendant la course ascendante du piston dans le bas du cylindre passe avec cette huile au-dessus du piston quand il descend, pour être ensuite refoulé au condenseur, sans aucun espace nuisible, par une large soupape unique, elle-même entièrement baignée d'huile. La garniture du piston est constituée par un seul segment assez lâche pour qu'une grande partie de l'huile qui recouvre le piston la traverse pendant la compression en diminuant considérablement ses frottements, et retourne au bas du cylindre. Le reste de cette huile est refoulé à travers la soupape de refoulement,

(1) Brevets anglais 4352 de 1880; 1114, 14095 et 14440 de 1887. — *American Machinist,* 11 octobre 1884 et 19 novembre 1887. — *Engineering,* 15 juin 1888. — *Revue industrielle,* 28 juillet 1888.

puis repris, après avoir été séparé de l'ammoniac et refroidi, par une pompe de circulation très ingénieuse, qui le ramène indéfiniment au bas du compresseur. On obtient ainsi à la fois un graissage parfait et un refroidissement satisfaisant du compresseur, dont l'huile absorbe une partie de la chaleur de compression. L'huile se sépare de l'ammoniac, comme nous l'avons dit, en deux temps : d'abord, et en majeure partie, par différence de densité, dans un premier séparateur, au sortir du compresseur, d'où elle passe, après avoir traversé un réfrigérant, à l'aspiration de la pompe de circulation ; le peu d'huile entraîné malgré cela se sépare de l'ammoniac dans un second appareil, au sortir du liquéfacteur.

Les soupapes de refoulement lourdes, et sans ressorts, sont pourvues d'une sorte de frein à l'huile, qui en amortit complètement les chocs et contribue, avec la largeur exceptionnelle de leurs sièges, à leur assurer un fonctionnement extrêmement doux et une durée presque indéfinie.

La machine de Lavergne présente en outre des détails très intéressants, notamment la circulation directe du gaz ammoniac dans les tubes de ses réfrigérants à ailettes. Ces machines, très répandues aux États-Unis, commencent à se faire connaître en Europe. Elles sont des plus intéressantes par l'originalité pratique de leurs mécanismes robustes et très accessibles, aussi bien que par la parfaite harmonie de leur ensemble.

L'ensemble de la machine de MM. *Wood* et *Richmond* [1], construite à New-York par MM. *Wood* et *Shipley*, est analogue à celui de la machine Lavergne; les cylindres des pompes sont aussi montés sur un bâti vertical et commandés directement par bielles et manivelles au moyen d'un moteur horizontal. Le piston, à garniture d'huile, n'a pas d'espaces nuisibles; les soupapes d'aspiration et de refoulement, disposées au haut des compresseurs et facilement accessibles, sont pourvues de *dash-pots* amortisseurs de chocs. La principale caractéristique des compresseurs est leur refroidissement

---

(1) Brevets anglais 5798 de 1882, 7824 de 1885, 9547 de 1886. — *American Machinist*, 28 juin 1884. — *The Engineer*, 4 février 1887.

par une injection de gaz ammoniac liquide pulvérisé en quantité suffisante pour y maintenir constamment le régime de saturation. Le condenseur a la forme d'un Baudelot sectionné en plusieurs compartiments de manière à parer à tout accident. Les robinets sont, comme les stuffing-box, rendus imperméables par des garnitures d'huile. Quelques-unes de ces machines sont pourvues d'un détendeur automatique à pression constante. Les appareils de MM. Wood et Richmond fonctionnent d'une façon très satisfaisante dans plusieurs installations importantes aux États-Unis. La vitesse ordinaire des pompes est de 100 tours par minute. Une machine à deux cylindres, de $200^{mm} \times 380^{mm}$, fournit, à cette vitesse et avec une puissance de 20 chevaux, 500^{kg} de glace à l'heure, dans les conditions ordinaires des climats tempérés. Nous avons déjà indiqué aux pages 159 et 160 quelques-uns des détails de construction les plus intéressants de ces machines, tels que la disposition particulière des séparateurs d'huile et des condenseurs à injection d'air, adoptés dans plusieurs installations.

Les machines de M. *Samuel Puplett* (1) sont du type horizontal. Leur compresseur à double effet est refroidi, comme celui de MM. Wood et Richmond, par une injection d'ammoniac liquéfié. Le condenseur est, comme nous l'avons vu page 157, d'une forme spéciale : l'ammoniac passant tantôt à l'extérieur, tantôt à l'intérieur des tubes. Une partie de l'ammoniac achève de se liquéfier dans un serpentin plongé dans le bac à glace, de manière à diminuer la pression de liquéfaction. La machine Puplett est construite en Angleterre par la *Pulsometer Engineering Company*. Dans une de ces machines, installée à Birmingham, le compresseur, actionné par un train d'engrenages, marche deux fois moins vite que le moteur à vapeur : la pression n'y dépasse pas 12^{atm} avec de l'eau de condensation à 33°. La machine produit 25 tonnes de glace par jour, avec une dépense moyenne de $1^{fr},25$ de charbon par tonne de glace. Nous décrivons plus bas le principe du frigorifère ou appareil à air froid de M. Puplett, ainsi que

(1) Brevets anglais 12541, 12543 de 1884; 14378 de 1887. — *The Engineer*, 25 janvier 1889.

son procédé de fabrication de glace transparente par agitation.

Les machines *Fixary* (1), construites en France par la Société des Constructions Mécaniques Spéciales, sont de deux sortes : horizontales et verticales.

Les machines verticales sont à un cylindre depuis une production de glace de 5^{kg} à l'heure jusqu'à 25^{kg}; à partir de cette force, elles sont à deux cylindres. Ces cylindres, à simple effet, sont conjugués au bas, sur les stuffing-box, par un bain d'huile dans lequel les pistons plongent au fond de leur course. Les soupapes d'aspiration et de refoulement sont placées au haut du cylindre et entourées d'eau. Une couche d'huile sur les pistons supprime tout espace nuisible. Les fuites de gaz ammoniac qui peuvent se produire dans les garnitures des pistons s'accumulent dans une chambre dite *chambre d'équilibre*, logée entre les deux cylindres, pour s'en échapper à l'aspiration des pompes, et rentrer dans la circulation générale, dès que la pression atteint, dans la chambre d'équilibre, celle de l'aspiration (1^{kg} à $1^{kg},5$ absolus). Les fuites intérieures des cylindres ne sont donc pas perdues.

Quant aux fuites extérieures par le stuffing-box, elles sont évitées au moyen d'une garniture ingénieuse consistant essentiellement en une longue gaîne d'huile minérale refroidie tout autour de la tige du piston par une dérivation de l'ammoniac détendu. Cette huile se gèle en partie, et forme ainsi une sorte de garniture demi-fluide ou *joint pâteux*, absolument imperméable et presque sans frottement.

Ce joint pâteux se retrouve employé avec tout autant d'efficacité et plus d'utilité sur les machines horizontales à double effet, dont le stuffing-box est soumis directement à la pression de l'ammoniac refoulé.

Dans les deux types de machines, l'ammoniac traverse, avant d'arriver au condenseur, un séparateur d'huile. L'huile,

---

(1) Brevets anglais 3545 de 1883, 2387 de 1885, 3363 et 3793 de 1887. — *Revue industrielle*, 1er janvier 1886. — *Génie civil*, 28 août 1886. — *Annales industrielles*, 20 janvier 1889. — *Revue universelle de la Brasserie*, 22 juillet 1888. — *Moniteur de la Brasserie*, 15 janvier 1889. — *Annales d'Hygiène publique et de Médecine légale*, juillet 1886. — HATON DE LA GOUPILLIÈRE, *Cours de machines*, t. I, p. 886.

ainsi séparée de l'ammoniac presque dès sa sortie du compresseur, passe en partie au joint pâteux, en partie à l'aspiration du compresseur, dont elle graisse les soupapes et le piston.

Quant à l'eau qui sert à faire la glace, elle passe, après sa filtration, dans un condenseur à surfaces alimenté, en tout ou en partie, par la vapeur d'échappement, et soumis au vide de la pompe à air du moteur. Cette eau se débarrasse ainsi de son air, en bouillant à une température de 70° à 80°; de là, elle est refoulée au distributeur des mouleaux, sous la pression d'un accumulateur, au travers de serpentins refroidis par l'eau de circulation.

Machines à acide carbonique. — L'acide carbonique est, de beaucoup, le plus énergique des gaz réfrigérants employés dans l'industrie.

Il se condense, sous la pression atmosphérique, à —32°, en un liquide de densité 0,9, incolore, flottant sur l'eau comme de l'huile, et produisant par sa vaporisation à l'air libre un froid de — 75°, qui le solidifie en partie.

Le point critique de l'acide carbonique est de 31° (1). Au delà de ce point, l'acide carbonique n'existe plus qu'à l'état mixte, et sa pression augmente très rapidement avec la température, comme l'indique le Tableau suivant :

Température	0°	15°	30°	40°	45°
Pression de liquéfaction ou de saturation.	40^{atm}	50^{atm}	75^{atm}	90^{atm}	100^{atm}

A 200°, la pression de saturation de l'acide carbonique serait, suivant *Krupp*, de 800^{atm}.

Les emplois de l'acide carbonique liquide sont déjà nombreux; c'est ainsi que l'on utilise son énergie mécanique considérable pour le tirage de la bière (2), l'amorçage ou la manœuvre

(1) ANDREWS, *Phil. trans.*, 1869, p. 575. — J. THOMSON, *Proc. of Roy. Soc. London*, novembre 1871. — VAN DER WAALS, *Over de Continuiteit van den gas en Vlœistofzustand*. Leyde, 1873, p. 56. — MAXWELL, *Theory of Heat*, p. 125. — CLAUSIUS, *Ann. de Chimie et de Physique*, novembre 1884. — CAILLETET et COLARDEAU, *Comptes rendus*, 24 juin 1889, p. 1280.

(2) Appareils de KUNKEIM, *Revue industrielle*, 19 février 1885. — HEUSER, *Moniteur de la Brasserie*, 3 février 1889. — LUHRMANN, *Chronique industrielle*, 14 février 1886.

des pompes à incendie ([1]), la compression des lingots ([2]), le renflouage des navires ([3]), la force motrice ([4]). L'acide carbonique liquide se vend aujourd'hui couramment, enfermé dans des bouteilles en acier ou en fer forgé ([5]). Un litre d'acide carbonique liquide fournit environ 450 litres de gaz. On le transforme facilement en une neige blanche qui fournit, lorsqu'on la dissout dans l'éther, l'acide sulfureux ou l'éther méthylique des mélanges réfrigérants très énergiques, descendant jusqu'à — 80° à l'air libre ([6]).

La fabrication très simple et bien connue de l'acide carbonique a reçu récemment quelques perfectionnements, dans le but de la rendre continue et véritablement industrielle ([7]).

L'acide carbonique n'attaque sensiblement aucun des métaux habituellement employés dans les appareils réfrigérants. Le principal inconvénient qu'il présente est d'exiger des joints d'une exécution difficile, l'emploi d'une circulation d'eau très active, et de ne révéler ses fuites par aucune odeur. D'autre part les difficultés de construction, conséquence des hautes pressions de l'acide carbonique liquide, n'ont permis d'en introduire l'usage dans la pratique industrielle des machines à froid que tout récemment, bien qu'il en soit question depuis très longtemps ([8]). C'est à deux ingénieurs allemands, MM. *Raydt* et *Windhausen*, que revient, à notre connaissance du moins, l'honneur d'avoir réalisé les premières machines frigorifiques à acide carbonique.

L'acide carbonique exige, à puissance frigorifique égale, des appareils compresseurs moins grands que les autres gaz, 50 fois moindres, d'après Windhausen, qu'avec l'éther,

---

(1) Raydt et Witle, *La Nature*, 12 avril 1884.

(2) Krupp, *Annales industrielles*, 29 mars 1885.

(3) Raydt, *Annales industrielles*, 29 mars 1885.

(4) Brunnel, Faraday, Marquis, Ghillano et Crestin, Mékarsky. — Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, t. I, p. 437.

(5) Raydt et Kunkeim, *Revue industrielle*, 19 février 1885. — Froideval, *Société d'encouragement*, mars 1889.

(6) Thilorier, Hoffmann, Ducretet, Cailletet et Colardeau, *Comptes rendus*, 4 août 1884, 11 juin 1888.

(7) Procédés Herberts et Gueret. — Brevets anglais 8617 de 1884 et 14927 de 1887. — Gall, *Société d'encouragement*, mars 1889.

(8) Lowe, Brevet anglais 952 de 1867

25 fois moindres qu'avec l'acide sulfureux, et 15 fois moindres que pour l'ammoniac; mais il comporte, en revanche, des pressions d'environ 20^{atm} au bac à glace et 70^{atm} au compresseur, dans les conditions les plus favorables de la pratique. Les espaces nuisibles doivent donc être absolument supprimés; les corps de pompe et les pistons doivent être construits en fonte exceptionnellement imperméable, ou en acier, ainsi que les robinets. Les difficultés de construction, sans être le moins du monde insurmontables, sont néanmoins à considérer, et l'expérience n'a pas encore démontré la supériorité industrielle des machines à acide carbonique. Les robinets détendeurs, d'une section très petite, sont d'un réglage difficile, et doivent être maniés avec précaution.

On peut, comme nous l'avons vu précédemment, atténuer en partie les inconvénients des pressions très élevées en liquéfiant l'acide carbonique soit par des compressions successives, dans des pompes disposées en cascade, soit en le refroidissant, au sortir du compresseur, à la fois par l'eau de circulation et par une dérivation du gaz détendu autour du liquéfacteur. Le premier de ces moyens a été adopté par M. Windhausen, et le second par M. Raydt.

M. *W. Raydt* (1), de Hanovre, est l'un des premiers inventeurs qui aient su réaliser pratiquement une machine frigorifique à acide carbonique.

Afin d'éviter les pressions trop élevées, l'acide carbonique passe, avant d'arriver au serpentin du bac à glace, dans un réfrigérant auxiliaire, placé à la suite du condenseur proprement dit et refroidi par la circulation de l'acide carbonique détendu revenant du bac à glace à l'aspiration. C'est dans ce réfrigérant, porté ainsi à une température notablement inférieure à celle de l'eau de condensation, que l'acide carbonique se liquéfie avant d'arriver au détendeur du bac à glace.

Le piston du compresseur à simple effet a la forme d'un plongeur : il est rafraîchi par une circulation d'eau intérieure. Le stuffing-box est pourvu à l'extérieur d'un joint d'huile ou

(1) Brevet anglais 15475 de 1884.

de glycérine, et l'acide carbonique qui s'en échappe est recueilli dans un gazomètre d'où on le réintègre de temps en temps à la pompe en l'y aspirant après avoir fermé l'aspiration de la pompe au bac à glace. Si l'on envoyait les fuites directement à l'aspiration de la pompe ou au serpentin du bac, il faudrait que la garniture extérieure pût supporter une pression de 25^{atm} à 30^{atm} au lieu de celle du gazomètre.

Dans les machines de *Windhausen* ([1]), la compression, commencée par un piston ordinaire, se termine par un piston liquide, sans espaces nuisibles, et l'acide carbonique liquéfié passe, avant d'arriver au bac à glace, dans un cylindre détendeur, dont l'admission est réglée par une soupape à ressort, et dont l'échappement communique avec le serpentin du bac. Les fuites des garnitures sont récupérées en les refoulant au cylindre de compression ou en les aspirant au cylindre détendeur.

Machines à liquides binaires. — C'est, croyons-nous, à MM. *Tessié du Motay* et *Rossi* que l'on doit attribuer la première idée d'utiliser dans les machines frigorifiques à compression les liquides mixtes ou binaires, c'est-à-dire constitués par le mélange de deux liquides volatils susceptibles de se séparer en se vaporisant à de certaines pressions, puis de se recombiner ensuite lorsqu'on augmente ces pressions. Dans cette recombinaison, l'affinité chimique entre en jeu pour aider à la liquéfaction du mélange et soulager d'autant le travail du compresseur pourvu que l'on enlève par une circulation d'eau suffisante la chaleur de cette combinaison.

MM. *Tessié du Motay* et *Rossi* ([2]) ont choisi comme liquides mixtes les combinaisons fournies par l'éther ordinaire, l'acide sulfureux ou le gaz ammoniac. L'éther absorbe à la température de 0 degré environ 50 pour 100 de son poids d'acide sulfureux et 6 pour 100 de son poids d'ammoniac. Le résultat

---

([1]) Brevets anglais 2864 de 1886, 2548 et 2549 de 1888. — *Engineering*, août 1888.

([2]) Brevets anglais 292 et 1284 de 1880. — *The Engineer*, 20 août 1880, p. 144.

est un liquide incolore, stable à la température ordinaire, comme l'éther. Alternativement raréfié puis comprimé, ce liquide se comporte dans la circulation d'une machine à compression comme l'éther ordinaire, mais avec une énergie frigorifique plus considérable; il présente en outre sur l'éther l'avantage de ne pas s'enflammer et de graisser naturellement les organes du compresseur, comme le fait l'acide sulfureux. On obtient ainsi une marche presque aussi active qu'avec l'acide sulfureux, mais à pressions moindres : une atmosphère et demie au plus. Quelques machines fonctionnent aux États-Unis avec les liquides binaires de MM. du Motay et Rossi, notamment aux forges de M. H. Delamater, à New-York; il y a tout lieu de penser qu'elles sont préférables aux machines à éther, et, en tout cas, plus sûres, puisque leur liquide n'est pas inflammable.

Au lieu de chercher à diminuer les pressions de liquéfaction déjà trop basses de l'acide sulfureux, M. *Pictet* (1) s'est, au contraire, efforcé de les relever en l'associant avec l'acide carbonique, qu'il peut absorber en toutes proportions, en formant une série de liquides binaires dont le point d'ébullition varie de — 70° à — 7° suivant leur richesse en acide carbonique. Celui de ces liquides choisi par M. Pictet a pour formule symbolique CSO^4; son point d'ébullition est de — 19°. Comme tous les liquides de la série, il se décompose aux basses températures en une suite de liquides intermédiaires émettant chacun des vapeurs pour leur compte et se recombinant aux températures ordinaires sous une pression modérée. Il en résulte qu'aux basses températures — dans les serpentins du bac à glace, par exemple — la tension, égale à la somme des tensions élémentaires de l'acide carbonique et de l'acide sulfureux, sera plus grande que celle de l'acide sulfureux, tandis qu'aux températures ordinaires elle pourra être peu différente. C'est, en effet, ce qui a lieu : les tensions respectives du liquide (CSO^4) et de l'acide sulfureux sont de $3^{atm},40$ et $3^{atm},30$ à 20°, de $2^{atm},20$, et de $1^{atm},90$ à —5°. A 35°, les tensions sont égales; à 50°, elles

(1) Brevet anglais 16557 de 1884. — *Nouvelles machines frigorifiques*. Genève, 1885. — *Comptes rendus*, 9 février 1885.

sont de $6^{atm},86$ pour le liquide binaire et de $8^{atm},3$ pour l'acide sulfureux. Il y a donc économie de force motrice ou diminution du travail du compresseur parce que, toutes choses égales, la pression augmente à l'aspiration ; une partie du travail de liquéfaction est opéré par le jeu de l'affinité chimique qui s'exerce entre l'acide carbonique et l'acide sulfureux aux températures ordinaires de la compression, et dont on n'a qu'à dissiper la chaleur dans l'eau du condenseur. On aurait constaté, d'après M. Pictet, par la substitution seule du liquide (CSO^4) à l'acide sulfureux, une économie ou augmentation du rendement de 50 pour 100 (340^{kg} de glace au lieu de 215^{kg}); mais il est permis d'élever quelques doutes à ce sujet, car l'emploi du liquide binaire ne s'est pas répandu depuis la date de cet essai (1885).

M. *Quiri* [1] a proposé ensuite, en 1886, l'emploi de liquides binaires d'acide sulfureux, de sulfure de carbone et de divers hydrocarbures. Nous ne connaissons aucune application des machines de M. Quiri qui emploient, comme celles de Pictet, des condenseurs à tubes en U et des soupapes silencieuses à *dash-pots*.

MACHINES A ABSORPTION OU A AFFINITÉ.

Le principe général des machines à absorption ou à affinité est le suivant :

On évapore sous pression une dissolution ammoniacale concentrée du commerce : le gaz ammoniac dégagé, refroidi par une circulation d'eau, se liquéfie dans un *condenseur*, d'où il se détend en produisant du froid dans un réfrigérant. Au sortir du réfrigérant, le gaz ammoniac se rend dans un vase plein d'eau, ou *absorbeur*, et se dissout dans cette eau, que l'on renvoie dans la chaudière ou *vaporisateur;* et ainsi de suite indéfiniment.

La pompe qui ramène la dissolution ammoniacale de l'ab-

---

(1) Brevet anglais 14606 de 1886.

sorbeur au vaporisateur est le seul organe mécanique de l'appareil, et son travail est très faible. Les principaux travaux du cycle : la *liquéfaction* et l'*aspiration*, sont effectués respectivement par le *vaporisateur* et par l'*absorbeur*, dont la combinaison remplace le compresseur des machines précédentes. Il y a donc, théoriquement, une identité parfaite entre les machines à affinité et les machines à compression marchant sans surchauffe : le cycle est le même, l'affinité de l'eau de l'absorbeur pour l'ammoniac remplace l'aspiration mécanique, et l'échauffement direct de la dissolution ammoniacale la compression ; avec ces différences, toutefois, que l'affinité accomplit son travail d'aspiration avec un dégagement de chaleur, tandis que le travail de liquéfaction en absorbe, en apparence inversement à ce qui se passe dans les machines à compression.

D'autres phénomènes accessoires, mais néanmoins importants, achèvent de troubler cette identité théorique. La dissolution ammoniacale n'a pas, dans le vaporisateur, une richesse uniforme; les parties basses sont très faibles, on les envoie dans l'absorbeur, d'où elles reviennent après s'être enrichies. Mais ces liquides pauvres, très chauds au sortir du vaporisateur, doivent arriver à l'absorbeur aussi froids que possible : on y parvient en les refroidissant, au travers d'un *échangeur de températures*, par la dissolution riche qui retourne de l'absorbeur au vaporisateur; on utilise ainsi théoriquement toute la chaleur de l'eau du vaporisateur.

Théoriquement, le rendement de l'appareil à absorption doit dépasser celui des machines à compression de la quantité correspondant aux résistances passives de la machine à vapeur et de la pompe de compression; il devrait aussi diminuer avec la température du réfrigérant, parce qu'il faut chauffer le vaporisateur à une température d'autant plus élevée que sa dissolution est plus pauvre, et que cette richesse s'abaisse avec la pression du réfrigérant à l'entrée de l'absorbeur.

En théorie, la chaleur — en calories négatives — cédée au réfrigérant doit être égale à la différence des chaleurs cédées au condenseur et fournies au vaporisateur; mais il faut, en pratique, tenir compte de nombreuses causes de déchet, dont

les principales sont l'influence de l'eau entraînée avec le gaz ammoniac distillé du vaporisateur et la perte de la chaleur enlevée par le refroidissement du récipient absorbeur, nécessaire pour que la dissolution y soit suffisamment concentrée.

L'eau entraînée nuit au rendement de deux manières : en augmentant inutilement la chaleur fournie à la chaudière de toute la quantité nécessaire pour sa vaporisation, et en diminuant la puissance frigorifique de l'ammoniac, dont elle empêche en partie la volatilisation au réfrigérant. On ne peut guère, avec les meilleures machines, évaluer à moins de 3 pour 100 la proportion d'eau entraînée, — elle atteint parfois 15 pour 100, — et cette faible proportion suffit pour abaisser très notablement le rendement théorique.

La quantité de chaleur qu'il faut enlever à l'absorbeur augmente d'autant celle qu'il faut fournir au vaporisateur; cette quantité de chaleur est égale à la chaleur d'absorption du gaz ammoniac (515^{cal}) diminuée des calories négatives apportées par ce gaz du réfrigérant, ou de la chaleur nécessaire pour l'élever de la température du réfrigérant à la température normale de l'absorbeur.

L'influence de ces deux causes de pertes seules — 3 pour 100 d'eau entraînée et le maintien de l'absorbeur à la température du condenseur — suffirait, avec une température de — 15° au réfrigérant, à presque décupler la chaleur théorique à fournir à la chaudière (1).

Si l'on ajoute à ces causes de pertes principales celles qui proviennent du rayonnement des appareils, de l'imperfection de l'échangeur de températures et de l'engorgement des serpentins du réfrigérant, plus à craindre avec ce système (2), on ne s'étonne plus de voir le rendement des machines à absorption tomber parfois, malgré leur supériorité théorique, au même niveau, sinon plus bas que celui des machines à compression. D'après une analyse raisonnée de M. *Kilbourn* (3), les dépenses de vapeur dans les machines à absorption et dans

(1) Ledoux, *Machines à froid*, p. 85.
(2) Kilbourn, *Engineering*, 21 octobre 1881, p. 403.
(3) *Engineering*, 28 octobre 1881, 427.

les machines à compression conduites par un bon moteur à condensation seraient dans le rapport de 38 à 23. Les essais de Munich, exécutés, il est vrai, sous l'inspiration de M. Linde, semblent confirmer ces prévisions, car ils indiquent, pour les machines à compression, une dépense de vapeur trois fois moindre que pour les machines à affinité. Nous ne pouvons, tout en faisant nos réserves sur ces chiffres, nous empêcher d'y attacher une certaine importance, confirmée, il semble, par la prépondérance que prennent de plus en plus les machines à absorption, malgré leur caractère mécanique en apparence plus compliqué [1].

En outre, dans la machine à absorption, la circulation d'eau doit emporter non seulement la chaleur de la vapeur d'eau entraînée par l'ammoniac, mais deux fois la chaleur de liquéfaction de ce gaz : une fois au condenseur et une seconde fois à l'absorbeur. Il en résulte qu'il faut dépenser dans la machine à affinité environ deux fois plus d'eau qu'avec la machine à compression.

Principaux organes des machines à affinité.

Nous allons maintenant passer rapidement en revue les principaux organes des machines à affinité.

Vaporisateur. — La chaudière ou vaporisateur est le plus souvent chauffée au bain-marie, par une circulation de vapeur qui donne un chauffage plus régulier et à l'abri des explosions qui pourraient se produire à la suite de coups de feu provoqués principalement par des incrustations. En France, on préfère, pour le vaporisateur, la position verticale, justifiée, il semble, parce que les parties riches et moins denses de la dissolution ammoniacale se localisent et se concentrent naturellement au haut de la chaudière. En Angleterre et en Allemagne, on préfère la chaudière horizontale surmontée d'un *analyseur* qui permet de donner à l'ensemble de l'appareil un aspect plus compact (*Kropff, Pontifex* et *Wood*). Dans tous

---

[1] GOTLIEB BEHREND, *Eis und Kälteerzeugungs Maschinen*, p. 200 et 301.

les cas, le haut de la chaudière, son plan de vaporisation, doit être mis en communication avec le condenseur au travers d'un *rectificateur*, et le bas avec l'*absorbeur* au travers du *régénérateur* ou *échangeur de températures*.

L'*analyseur*, interposé entre la chaudière et le rectificateur, consiste le plus souvent en une série de plateaux perforés sur lesquels descendent, sans se mêler au courant ascendant des vapeurs ammoniacales tout en en subissant l'échauffement, l'eau ammoniacale condensée et séparée dans le rectificateur ainsi que la dissolution riche provenant de l'absorbeur. On peut citer parmi les meilleurs appareils de ce genre ceux de *Reece* ([1]), *Stanley* ([2]), *Pontifex* ([3]), *Beck* ([4]), *Imbert*.

Le *rectificateur*, qui fait suite à l'analyseur, est composé le plus souvent d'un serpentin pourvu de poches dans lesquelles la vapeur ammoniacale entraînée se recueille à mesure qu'elle se condense en parcourant le serpentin refroidi. L'un des types de rectificateurs de ce genre des mieux étudiés est celui de MM. *Pontifex* et *Wood*, qui prétendent réduire ainsi presque à rien la proportion d'eau entraînée au condenseur ([5]).

Le *condenseur*, intermédiaire entre le rectificateur et le réfrigérant, ne diffère des appareils analogues des machines compression que par ses dimensions souvent plus considérables en raison de l'eau entraînée.

Il en est de même du *réfrigérant* placé entre le condenseur et l'absorbeur.

L'*absorbeur*, placé entre le réfrigérant et la pompe de refoulement au vaporisateur ou à l'analyseur, est, au contraire, comme nous l'avons vu, un appareil particulier aux machines à affinité. Il est, en général, constitué par une sorte de condenseur à surfaces, à tubes ou à serpentins parcourus par une circulation d'eau froide, recevant par le haut le liquide pauvre du vaporisateur refroidi par l'échangeur de températures, et, en un point intermédiaire, l'ammoniac du réfrigé-

---

([1]) Brevet anglais 2891 de 1870.
([2]) *Ibid.* 3907 de 1875.
([3]) *Ibid.* 15064 de 1887.
([4]) *Ibid.* 11896 de 1886.
([5]) *Ibid.* 15064 de 1887.

rant ([1]). L'absorbeur de *Beck* ([2]) est en deux parties, avec circulation de l'ammoniac en sens inverse de la dissolution faible. Dans l'absorbeur de *Reece*, l'ammoniac arrive, par de petits tuyaux percés en jets multiples, au milieu de la liqueur faible circulant dans de gros tubes en U rafraîchis à l'extérieur par un courant d'eau ([3]).

C'est, presque toujours, le trop plein de la circulation du condenseur qui sert ensuite à refroidir l'absorbeur.

L'*échangeur de températures*, qui transmet à la dissolution riche venant de l'absorbeur la chaleur de la dissolution pauvre qui s'y rend, est aussi construit presque toujours sur le principe des condenseurs à surfaces, et ne présente rien de bien particulier.

Nous citerons comme variétés des appareils à affinité que nous venons de décrire ceux de M. *Tellier*, remplaçant l'ammoniac par la méthylamine, avec absorbeur rafraîchi par un courant d'air ([4]), ou faisant agir l'ammoniac comme force motrice au sortir du condenseur, avant d'arriver au réfrigérant ([5]). Dans les machines de *Rossi-Beckwith* ([6]) et d'*Osenbrück* ([7]) on espère réduire les entraînements d'eau en employant comme liquide absorbeur de la *glycérine concentrée* à 38° Baumé, absorbant de 250 à 300 fois son volume de gaz ammoniac et bouillant à 140° environ. Aucune de ces modifications n'ayant encore subi l'épreuve de la pratique, nous ne pouvons que les signaler sans commentaires.

Nous nous contenterons aussi de rappeler seulement la facilité avec laquelle le principe de l'absorption se prête à la fabrication de petits *appareils intermittents*. Le prototype de ces appareils est celui de *Carré*, auxquels divers inventeurs, notamment MM. *Kropff* ([8]), *Dubern* ([9]) et *Schmid* ([10]),

---

([1]) Pontifex et Wood.
([2]) Brevet anglais 11896 de 1886.
([3]) *Ibid.* 2891 de 1870.
([4]) *Ibid.* 1730 de 1877.
([5]) *Ibid.* 6212 de 1888.
([6]) *Ibid.* 220 de 1881.
([7]) *Ibid.* 719 de 1886.
([8]) *Ibid.* 2740 de 1879.
([9]) *Ibid.* 3153 de 1877.
([10]) *Ibid.* 16074 de 1885 et 16293 de 1888.

ont apporté quelques perfectionnements de détail destinés soit à en faciliter le maniement ou à en assurer la sécurité, soit, à tort, croyons-nous, à en étendre l'application à de grandes productions. Il paraît en être de même du nouvel appareil de M. *A. Perkins*, au sujet duquel on a mené tout récemment une certaine publicité [1].

Principales machines à affinité.

Les machines à affinité sont d'invention française. C'est, en effet, à M. *Ferdinand Carré*, l'un des créateurs de l'industrie du froid, que l'on doit la première machine industrielle de ce genre [2], et l'on n'a fait qu'ajouter depuis des perfectionnements de détail à sa remarquable invention qui fut d'ailleurs récompensée par un brillant succès. On retrouve dans les premières machines de Carré tous les organes essentiels des machines à affinité, dont les formes générales et les fonctions sont très clairement spécifiées par ses brevets. Les machines Carré sont construites en France par MM. *Rouart frères*, et tiennent encore un rang très honorable, sinon le premier rang, parmi les machines à affinité.

MM. *Imbert frères*, de Saint-Chamond, construisent aussi des appareils analogues.

Dans ces deux appareils, le gaz ammoniac, volatilisé par une circulation de vapeur à 150° environ, se liquéfie sous une pression de 10^{atm} à 12^{atm} : la dissolution ammoniacale de la chaudière renferme environ 1 d'ammoniac pour 4 d'eau. On peut compter sur un rendement d'environ 20^{kg} de glace par kilogramme de charbon [3]. MM. *Rouart frères* auraient même obtenu jusqu'à 28^{kg} de glace par kilogramme de charbon.

En 1870 et 1875, MM. *Reece* et *Frank Stanley* [4] introduisirent dans les machines à affinité quelques perfectionnements de détail importants, notamment la déshydratation de l'ammoniac poussée aussi loin que possible par un

---

(1) *Engineering*, 8 mars 1887. — *The Engineer*, 8 mars 1887. — Brevet anglais 2471 de 1888.

(2) Brevets anglais 2503 de 1860, 3422 de 1872.

(3) *Engineering*, 26 juillet 1889, p. 100 (Expériences de DENTON).

(4) Brevets anglais 2891 de 1870 et 3907 de 1875.

analyseur analogue aux rectificateurs des appareils à distiller.

MM. *Pontifex* et *Wood* de Londres ont, après avoir longtemps fabriqué les machines de *Reece*, considérablement perfectionné pour leur part les appareils à absorption par d'ingénieuses modifications de détail ([1]). Il en est de même, en Allemagne, pour les appareils de M. *O. Kropff*, où tous les serpentins sont remplacés par des tubes droits ([2]).

APPLICATIONS DES MACHINES FRIGORIFIQUES.

Les applications du froid aux industries les plus diverses sont déjà très nombreuses et se multiplient chaque jour.

L'emploi du froid est tout indiqué pour les industries qui utilisent les fermentations dont il faut, en certains moments, arrêter ou modérer le développement : tel est le cas des fromageries ([3]), des magnaneries, des sucreries, pour la conservation des jus, des fabriques de colles et de gélatine et des brasseries à fermentation basse ([4]). Dans cette dernière application, des plus importantes, on utilise le froid de deux manières : par l'application directe de la glace et par le refroidissement des caves et des cuves au moyen de circulations de liquide incongelable et d'eau, sorte de volants de froid qui atteignent parfois des proportions gigantesques (25^{km} à 30^{km}).

On peut citer, comme industries similaires, la conservation des vins et la fabrication des eaux gazeuses ([5]).

Parmi les *industries chimiques* qui utilisent le froid, il faut citer la fabrication des bougies, des margarines ([6]), du chocolat ([7]), de la paraffine ([8]), la concentration des eaux mères et la cristallisation des dissolutions salines ([9]).

([1]) *Engineering*, 1er avril 1887, p. 293. — Brevet anglais 15064 de 1887.
([2]) Brevet anglais 2740 de 1879.
([3]) Fixary.
([4]) *Revue universelle de la Brasserie*, 31 mars 1889.
([5]) Michotte et Guillaume, *Traité de la fabrication des eaux gazeuses*. Hetzel, 1889.
([6]) Fondoir central de Paris (Fixary).
([7]) Usine de Noisiel (Giffard).
([8]) Kirk, *Inst. of Civil Eng.*, 20 mars 1884. — *Revue industrielle*, 19 mars 1889.
([9]) Merle et Cie, à Salindres. Pour les marais salants.

On a bien essayé, mais sans succès, financier du moins, l'application des machines à froid à la création de petits lacs de patinage artificiels (1).

Une application plus récente et plus digne d'intérêt est celle de M. *Poetsh,* pour le *forage des puits* en terrains aquifères inconsistants, que l'on transforme par la congélation en une masse facile à traverser (2). Le capitaine *Lendmark* a appliqué avec succès, en 1886, une méthode analogue au percement d'un tunnel à Stockholm (3). Le froid, bien que très intense, n'exerce aucune influence notable sur la solidité des cuvelages en bois, en fonte, et même en maçonnerie.

Nous ne pouvons guère qu'indiquer ces diverses applications du froid, et ne donner quelques détails que sur les trois applications suivantes :

La *fabrication de la glace;*
La *fabrication de l'air froid;*
La *conservation des viandes* et denrées alimentaires.

Ces trois applications, les plus importantes, comprennent d'ailleurs, comme dérivées, presque toutes celles que nous venons de signaler.

Fabrication de la glace.

L'application la plus importante des machines frigorifiques est la fabrication de la glace.

La glace se fabrique en congelant l'eau renfermée dans des bacs cloisonnés fixes, à l'intérieur des parois desquelles circule un liquide incongelable, ou dans des mouleaux mobiles, plongés dans un liquide traversé par des serpentins que parcourt le gaz réfrigérant. Ces mouleaux mobiles, plus économiques et d'un maniement plus commode, sont de beaucoup

(1) West et du Vallon, Brevet anglais 2239 de 1875. — Mackay et Rae, Brevets anglais 1073 de 1875 et 789 de 1876. — Gamgee, Brevets anglais 411 de 1876, 4176 de 1876.

(2) *The Engineer*, 30 novembre 1883, p. 417. — *Génie Civil*, 17 mai, 12 septembre 1884. — *Annales des Mines*, juillet 1885, janvier 1887 (Mémoire de MM. Lebreton et Alby).

(3) *Inst. of Mechanical Engineers*, mai 1886, p. 237.

les plus employés. On les fait indifféremment en tôle étamée ou galvanisée.

On distingue dans le commerce deux sortes de glace : la *glace transparente* et la *glace opaque*. Cette dernière, préférable pour l'alimentation puisqu'elle doit son opacité à la présence d'un excès d'air, n'est pourtant admise que dans les usages industriels, où son air est parfois nuisible, et pour lesquels elle présente, en raison de sa plus grande légèreté, l'inconvénient de fondre plus vite et de moins refroidir à volume égal que la glace transparente. Ajoutons qu'il importe, pour la consommation et pour les usages médicaux, de n'employer comme eaux servant à la fabrication de la glace que des eaux filtrées et débarrassées autant que possible, par la chaleur ou autrement, de leurs impuretés organiques (microbes, etc.), qui ne sont pas rendus inoffensifs par la congélation.

Les principaux procédés employés pour produire de la glace transparente sont au nombre de cinq :

La congélation lente ;
La congélation dans le vide ;
L'agitation de l'eau pendant la congélation ;
L'ébullition ou la distillation de l'eau privée d'air ;
La congélation de l'eau provenant de la condensation de la vapeur d'échappement.

La congélation lente, dans un bain à — 3° environ, imite le procédé de la nature et donne des résultats excellents. D'une simplicité parfaite, elle présente l'inconvénient d'exiger des bacs énormes, coûteux et multipliant les chances de fuites.

Le vide, combiné parfois avec l'ébullition ([1]) ou l'agitation ([2]), donne aussi une glace très belle ; mais il exige des appareils coûteux, compliqués et d'un maniement difficile ; aussi est-il presque abandonné,

L'agitation exige aussi des mécanismes souvent encombrants, coûteux et compliqués. On peut la produire soit dans

---

([1]) EDWARDS, Brevet anglais 3123 de 1881. — RAYDT, Brevet anglais 3347 de 1885.
([2]) GAMGEE, Brevet anglais 4064 de 1877.

les mouleaux [à l'intérieur ([1]) ou à la surface ([2]) de l'eau à congeler, par des vannes ([3]), des ailettes ([4]) ou des pompes de circulation ([5])], soit dans les compartiments fixes, autour de leurs cloisons, par des moyens analogues, principalement par des pompes de circulation ([6]), soit, enfin, par l'agitation même des mouleaux au sein du liquide incongelable ([7]). Les inconvénients de ces solutions mécaniques, qui ne procurent pas toujours une glace très belle, sont tels qu'elles ne se sont guère répandues, malgré leur grand nombre et le caractère ingénieux de quelques-unes d'entre elles.

Il n'en est pas de même de la *distillation* et de l'*ébullition* de l'eau à congeler, coûteuses si on les opère isolément, mais économiques de combustible si on les obtient par une chaudière auxiliaire à surpression ou en utilisant la vapeur d'échappement du moteur.

La première solution est celle de *Linde* ([8]); il chauffe la chaudière du moteur, à grandes surfaces évidemment, par la condensation de la vapeur d'une chaudière de distillation portée à une pression plus élevée : cette eau, condensée sous pression, passe, par un réducteur, dans un récipient ouvert à la pression atmosphérique, où elle entre en ébullition en perdant son air, puis elle est refoulée aux mouleaux au travers d'un réchauffeur d'alimentation, dans lequel elle se refroidit en cédant sa chaleur à l'eau d'alimentation des deux chaudières. Cette solution, très rationnelle, exige l'installation d'appareils encombrants et coûteux, mais elle donne de l'eau distillée pure, sans graisses, et privée d'air.

Lorsqu'on emploie pour faire la glace la vapeur d'échappe-

([1]) Young, Brevets anglais 826 de 1879, 887 de 1880, 1460 de 1882. — Linde, Brevet anglais 9612 de 1885.

([2]) Nightingale, Brevet anglais 13923 de 1884.

([3]) Osenbrück, Brevet anglais 954 de 1882.

([4]) Mutter, Brevet anglais 736 de 1883.

([5]) Gorman, Brevet anglais 2353 de 1879. — Puplett, Brevet anglais 12542 de 1884.

([6]) Skene, Mackay, Gorman et Willcox, Brevets anglais 1515 et 2343 de 1879, 3038 de 1880, 553 de 1881.

([7]) Dowrie, Ingram, Rankin, Brevets anglais 4817 de 1881, 14989 et 15437 de 1885.

([8]) Brevet anglais 16270 de 1886.

ment de la machine motrice, qui suffit ordinairement à 15 ou 20 pour 100 près, il faut au contraire employer, pour la débarrasser de sa graisse, des dispositions spéciales. Dans l'appareil de M. *de Stoppani* (1), la vapeur d'échappement, déjà condensée en partie par une injection complémentaire d'eau épurée, traverse, avant d'aller se condenser définitivement autour des tubes d'un condenseur à surfaces, un séparateur constitué par une série de tôles perforées disposées en chicanes de manière à contrarier son cours, et le long desquelles la vapeur abandonne l'huile entraînée. L'air est enlevé par une pompe à air, qui maintient constamment le vide au-dessus du niveau de la vapeur précipitée dans le condenseur à surface : cette eau privée d'air est ensuite pompée dans un réservoir ou accumulateur aboutissant au remplissage des mouleaux. On peut employer pour le condenseur à surfaces la même eau que pour le refroidissement du condenseur d'ammoniac, et l'utiliser ensuite pour l'alimentation de la chaudière et le démoulage.

Dans le système de *Lavergne* (2), la vapeur, traverse, avant d'arriver au condenseur, de l'eau dans laquelle elle barbotte en abandonnant presque toute sa graisse, puis un filtre de noir animal ou de charbon. L'eau condensée descend, au travers d'un vase à niveau constant et ouvert à l'air libre, dans un refroidisseur Baudelot. De là, elle passe dans un réservoir collecteur, où elle dépose ses dernières impuretés, et du haut duquel elle se rend dans un accumulateur en bois fermé par un flotteur et communiquant avec le remplissage des mouleaux.

On peut, d'ailleurs, lorsqu'on craint de ne pas arriver à se débarrasser entièrement des graisses, utiliser la vapeur d'échappement d'une façon indirecte, en lui faisant chauffer de l'eau préalablement filtrée. Cette eau passe autour des tubes d'un condenseur à surfaces traversés par la vapeur d'échappement, où elle bout à 70° environ, sous le vide déterminé par une pompe à air; on refroidit ensuite cette eau, filtrée et privée d'air, avant de l'envoyer aux mouleaux. Il est rare que la vapeur d'échappement suffise seule pour chauffer l'eau à

(1) Brevet anglais 3363 de 1887.
(2) Brevet anglais 14440 de 1887.

une température convenable; mais il est facile d'y suppléer par une prise de vapeur sur la chaudière.

Parmi les autres procédés moins importants proposés pour la fabrication de la glace transparente, je citerai la formation des blocs par couches successivement congelées ([1]) ou *per descensum*, c'est-à-dire en laissant la glace se former lentement en se propageant du fond d'un récipient à liquide incongelable flotté sur l'eau à congeler ([2]).

La fabrication de la glace comporte en outre l'emploi d'un certain nombre de mécanismes accessoires pour l'avancement, le remplissage et le démoulage : nous n'insisterons pas sur ces appareils d'ordre purement mécanique, et que chaque constructeur établit à sa convenance.

Quant au prix de revient de la glace au sortir des mouleaux, il oscille, suivant l'importance de l'installation, entre 6^{fr} et 10^{fr} la tonne avec les bonnes machines à compression.

Refroidissement de l'air.

L'une des applications les plus intéressantes des machines à froid est le refroidissement de l'air, la fabrication d'air froid, que l'on applique ensuite à diverses opérations telles, par exemple, que la conservation des viandes, le refroidissement des salles de réunion.

Les machines à air ont incontestablement le grand avantage de produire l'air froid directement : elles rachètent en partie par leur simplicité la faiblesse de leur rendement, et cette qualité paraît devoir leur conserver quelque temps encore le monopole des navires.

A terre, où l'on se procure facilement l'agent chimique nécessaire au fonctionnement des machines à liquéfaction, où l'espace ne manque pas et où l'on tient plus à l'économie du combustible, on a cherché depuis longtemps à produire l'air froid indirectement en bénéficiant de l'économie des machines à gaz liquéfiés.

([1]) GORRIE, GAMGEE, Brevets anglais 13234, 4519 de 1850 et 1875. — LINDE, *The Engineer*, 17 septembre 1880, p. 211.

([2]) KIRK, Brevet anglais 2235 de 1864. — GAMGEE, Brevet anglais 3682 de 1875.

Dans les systèmes proposés par MM. *Rouart, Osenbrück* [1] et *Linde,* c'est par son passage sur des mèches ou des toiles métalliques imbibées de liquide incongelable refroidi, ou même à travers une mince couche de ce liquide [2] que l'on refroidit l'air; mais ce procédé a l'inconvénient d'obliger à l'entretien du liquide. On préfère, en général, se contenter de la circulation d'une grande masse de liquide incongelable toujours le même, et faisant comme un volant de froid, dans une série de tuyaux fixés au plafond de la salle à refroidir, et qu'il faut dégivrer de temps en temps.

Je citerai, dans cet ordre d'idées, les tuyaux des machines de *Lavergne* [3], à ailettes, comme ceux de certains calorifères, dans lesquels ce n'est pas le liquide incongelable mais, ainsi que dans les appareils de M. *Schmitz* (1884), le gaz ammoniac détendu lui-même qui circule indéfiniment. Leurs joints à brides vissées et soudées résistent à 70^{atm}.

Une autre solution consiste à refroidir l'air dans un appareil frigorifère, par son passage autour ou à l'intérieur de tubes parcourus par un liquide incongelable refroidi. Dans l'appareil de *Chambers* [4], l'air traverse successivement une série de réfrigérants à tubes en U, autour desquels circule le liquide incongelable : il dépose son eau et sa glace dans le premier réfrigérant et achève de se refroidir dans les autres, qu'il givre peu à peu. On opère le dégivrement en faisant passer de temps en temps, en sens inverse du courant normal, une chasse d'air chaud ou de vapeur dans les tubes givrés, qui reprennent ainsi leur activité première.

M. *Fixary* [5] opère au contraire ce dégivrement méthodiquement au moyen de l'air même à refroidir, utilisant ainsi le givre, autrefois une cause de perte. La théorie de son appareil est fort simple. Imaginons deux compartiments à serpentins séparés; désignons-les par A et B. A l'origine, l'air à refroidir

---

(1) G. BEHREND, *Eis Maschinen*, p. 280.
(2) MIGNON et ROUART, Brevet anglais 5219 de 1882. — *Comptes rendus*, 18 novembre 1875.
(3) *Revue industrielle*, 28 juillet 1888.
(4) Brevet anglais 1984 de 1882.
(5) *Ibid.* 3793 de 1887.

passe de A sur B, puis dans la chambre froide, et le gaz ammoniac détendu dans A seulement. Dès que A se givre, on renverse à la fois le courant d'air et la circulation d'ammoniac, de sorte que l'air fond d'abord le givre de A, qui s'écoule hors de l'appareil. L'air achève ensuite de se refroidir sur B, seul parcouru par la circulation d'ammoniac. L'action de l'appareil est d'autant plus vive, et le dégivrement d'autant plus rapide, qu'il faut moins abaisser la température de l'air; aussi cet appareil donne-t-il d'excellents résultats quand il faut refroidir de grandes masses d'air aux environs de zéro. D'ailleurs, pour atteindre les basses températures, M. Fixary obtient un dégivrement très rapide en faisant circuler dans l'intérieur des serpentins de l'ammoniac pris au refoulement du compresseur. En outre, l'expérience a démontré l'utilité d'un troisième serpentin, parcouru constamment par l'ammoniac détendu, jamais givré, et sur lequel l'air refroidi et séché par les deux premiers serpentins achève de se refroidir. Des expériences exécutées en grand en France et en Allemagne donnent lieu de croire que cet appareil répondra aux espérances de son inventeur et permettra de réaliser avec économie la production industrielle et la distribution de l'air froid sec : d'importantes applications ne tarderont pas à fixer l'opinion sur sa valeur pratique.

Conservation des viandes.

L'application des machines frigorifiques à la conservation des viandes prend chaque jour une plus grande importance. Presque abandonnée en France à la suite d'essais malheureux, cette industrie prospère aujourd'hui et se développe rapidement en Allemagne, en Angleterre et en Belgique, principalement pour l'importation des viandes fraîches d'Amérique et d'Australie. En Angleterre, l'importation des viandes gelées s'est élevée, pour 1887, à plus de 69000 tonnes de bœuf et de mouton ([1]).

On peut empêcher presque indéfiniment la putréfaction des viandes en les maintenant congelées à une très basse tempé-

([1]) En 1888, on a importé en Angleterre 939000 moutons de la Nouvelle-Zélande, 108000 de l'Australie et 908000 de la République Argentine (Bellet, *Revue scientifique*, 27 juillet 1889, p. 114).

rature ; mais ce moyen de préservation n'est pas à l'abri de toute critique parce que la viande, une fois dégelée sans précautions spéciales, se corrompt très vite, et perd en tout cas la majeure partie de son arome et même un peu de ses qualités nutritives. Ces inconvénients ne se présentent pas, au même degré du moins, pour les viandes conservées dans une atmosphère d'air sec à zéro environ, et constamment renouvelée. Les viandes importées des États-Unis supportent dans ces conditions le voyage mieux que celles de l'Australie ou de l'Amérique du Sud, dont la préservation exige un refroidissement plus énergique.

Le système qui consiste à entasser dans le navire les viandes gelées d'avance à — 15° environ présente incontestablement l'avantage d'un tonnage plus élevé conservé avec une dépense de froid moins grande; mais les viandes ainsi traitées, reconnaissables à leur fadeur, n'ont jamais pu se faire admettre, en France du moins, sur un pied comparable à celui des viandes fraîches.

C'est à MM. *Bell* et *Coleman* que l'on doit non pas les premiers appareils — MM. *Mort* (1), *Windhausen-Huch* (2) et *Tellier* (3), les ont précédés dans cette voie — mais les premiers succès, les premières applications véritablement industrielles des machines frigorifiques au transport de la viande par navires. La viande est conservée par une circulation d'air froid sec produit par les machines décrites à la page 146 (4) dans des chambres en bois parfaitement isolées par des parois en sciure et charbon de $0^m,30$ environ d'épaisseur. L'air est distribué dans ces chambres au moyen de canaux de circulation en bois, pourvus de trappes de répartition et de *snow-box* destinées à recueillir le givre produit par la condensation des vapeurs émises par les viandes. Il faut, pour ne pas augmenter démesurément la dimension des machines, refroidir cette masse d'air par la diffu-

(1) Brevet anglais 3323 de 1867.
(2) *Ibid.* 935 de 1869.
(3) PÉCLET, *La Chaleur*, t. III.
(4) *Inst. of civil Engineers.* London, 14 février 1882. — *The Engineer*, 28 octobre 1881, p. 318. — *Engineering*, 17 février 1882, p. 156. — Brevets anglais 3862 de 1878, 4191 de 1879, 5507 de 1883.

sion de faibles volumes portés à une très basse température, dont la densité facilite d'ailleurs la répartition et la circulation. Les installations maritimes de Bell-Coleman sont très répandues et fort appréciées en Angleterre. Une machine de grande dimension, pouvant refroidir pour le transport une coque à viandes de 1000 tonneaux, revient à 40^{fr} environ par mètre cube. En quatre années, de 1879 à 1884, les machines Bell-Coleman ont importé d'Amérique en Angleterre 564000 quartiers de bœuf et 114000 moutons conservés. Lorsqu'on expose ces viandes brusquement à l'air libre, la vapeur de l'atmosphère s'y condense en une sorte de rosée; on évite cette humidité en laissant les viandes reprendre peu à peu la température ordinaire dans la cale fermée du navire.

Parmi les appareils anglais qui ont été, à la suite de ceux de MM. Bell-Coleman, appliqués avec le plus de succès à la conservation des viandes à bord des navires, je citerai ceux de MM. *Hall* (1), *Hick-Hargreaves* (2) et *Lightfoot* (3). Ce dernier constructeur a récemment installé à bord du navire *Fifeshire* deux machines pouvant refroidir 2300^{mc} d'air par heure à — 50° ou — 60°, suivant la température de l'eau de condensation : ce navire doit rapporter de la Nouvelle-Zélande environ 30000 carcasses ou 900 tonnes de moutons gelés à chaque traversée (4). On estime que la viande reviendra, vendue à Londres, à $0^{fr},50$ ou $0^{fr},40$ le kilogramme.

Comme nous venons de le voir, à bord des navires, l'air nécessaire à la réfrigération des viandes est produit presque toujours directement par une machine frigorifique à air. On n'a que rarement essayé de produire cet air indirectement par son passage au travers d'un frigorifère actionné par une machine à gaz liquéfié, à ammoniac par exemple : les raisons en sont l'encombrement de ces appareils et leur dépendance d'une provision limitée d'un produit chimique.

Il n'en est pas de même à terre, où ces raisons n'ont, dans les climats tempérés et dans les pays industriels, aucune por-

(1) *Engineering*, 31 mars 1882, p. 305.
(2) *Engineering*, 4 août 1882, p. 113.
(3) *Ass. of foremen Engineers*, London, 2 juin 1888.
(4) *The Engineer*, 14 octobre 1887, p. 305.

tée, de sorte que rien n'empêche de profiter autant que possible de l'économie des machines à gaz liquéfiés, aussi bien pour la fabrication de l'air froid que pour celle de la glace. Nous citerons, comme exemple, l'application faite en 1885, à l'entrepôt des Victoria Docks de Londres, d'un frigorifère *Chambers* (*voir* p. 189) capable de refroidir par heure 7200^{mc} à — 18° avec une puissance de 32 chevaux, tandis qu'il aurait fallu environ 80 chevaux pour produire le même résultat avec une machine à air (1).

Les appareils *Fixary*, qui produisent aussi (p. 189), mais d'une manière différente, l'air froid sec et renouvelable à volonté par le jeu d'un frigorifère à gaz liquéfiés, sont actuellement l'objet d'applications importantes aux maisons de préservation de Lisbonne, de Crefeld, et aux halles de Bruxelles.

On peut évidemment appliquer à la préservation temporaire de la viande dans les entrepôts les systèmes de refroidissement de l'air par le rayonnement de tuyaux à liquide incongelable (*Pictet*, *Linde*, etc.), ou à gaz détendu (*Lavergne*) suspendus au plafond des caves, et plus coûteux que les frigorifères à canaux de bois. M. *Osenbrück* a aussi appliqué à l'entrepôt de Brême le refroidissement de l'air par son passage sur un liquide incongelable (p. 189). MM. *Greathead* et *Sterne* ont proposé (2) d'emmagasiner les viandes dans des puits congelés et refroidis à l'abri des variations atmosphériques.

Les chambres de conservation sont rarement maintenues à une température inférieure à zéro; il est prudent, lorsqu'on y débarque des viandes gelées à fond, de laisser ces viandes acquérir lentement une température de — 4° environ, et d'employer pour leur transbordement, lorsque le mouillage l'exige, des allèges frigorifiques analogues à celles de M. *S. Puplett* (3).

Les wagons pour le transport des viandes gelées sur les voies ferrées n'existent pour ainsi dire pas en Europe, mais ils fonctionnent en très grand nombre aux États-Unis, le plus souvent entre deux magasins de conservation. Ce sont presque

(1) *The Engineer*, 14 août 1885, p. 130.
(2) Brevet anglais 13276 de 1887.
(3) *Ibid.* 17756 de 1887.

toujours des glacières convenablement isolées par des parois de feutre et d'air inerte ou circulant à volonté. L'eau provenant de la fusion de la glace doit pouvoir être évacuée à mesure sans toucher la viande. Nous citerons, parmi les systèmes les plus répandus aux États-Unis, ceux de *Tiffany* (1), de *Roberts* (2), de *Boult* (3) et de *Wickes* (4) : dans ces derniers, l'air n'est jamais renouvelé; un ventilateur le fait constamment passer et repasser sur la glace. Quelques inventeurs ont tenté de constituer de véritables trains réfrigérants entretenus par le fonctionnement d'une machine à air placée sur la locomotive (5) ou par la détente d'une provision de gaz liquéfié (6), mais la complication, le prix élevé et la spécialisation trop exclusive de ces apppareils les ont fait, jusqu'à présent, rejeter comme inapplicables *à priori*.

Poissons. — Les procédés que nous venons d'indiquer pour la conservation des viandes s'appliquent aussi à celle des poissons, mais plus facilement. On peut porter les poissons à une très basse température, — 20°, puis les conserver très longtemps à cet état de glaçons sans en dénaturer sensiblement la saveur.

Lait. — La *conservation du lait* par le froid est aussi l'une des plus intéressantes : son principal concurrent est la pasteurisation, qui stérilise les ferments du lait par un chauffage à 80° environ, mais en lui donnant un goût de lait cuit peu en faveur (7). Le froid n'a pas cet inconvénient. On emploie pour conserver le lait par le froid deux méthodes : le refroidissement à 3° ou 4° sur des Baudelots ou dans des appareils à circulation fermés, comme ceux de M. *Lezé* (8) et la congélation véritable, brusque, à — 20° environ, dans des mouleaux

(1) LAVOINNE et PONTZEN, *Les chemins de fer en Amérique*, t. II, p. 83. — Brevet anglais 1226 de 1877.
(2) Brevet anglais 3398 de 1877.
(3) *Ibid.* 416 de 1889.
(4) LAVOINNE et PONTZEN, *Les chemins de fer en Amérique*, t. II, p. 85.
(5) JAMES COLEMAN, Brevet anglais 638 de 1882.
(6) CLAY et JOHNSON, Brevet anglais 12917 de 1885.
(7) *Annales de l'Institut Pasteur*, janvier 1889 (Mémoire de M. DUCLAUX).
(8) *Machines à glace*, 1889, p. 175.

fermés, que l'on dégèle pour la consommation [procédé *Guérin* (1)]. — Ce dernier procédé donne un lait d'un goût parfait et d'un transport très avantageux. L'industrie de la conservation du lait est encore trop peu répandue pour que l'on puisse porter un jugement définitif sur ces différents procédés; mais la congélation présente des avantages de manipulation tels qu'elle serait probablement préférée, pour les grandes expéditions, du moins.

Résumé et conclusions.

La théorie des machines frigorifiques est connue depuis longtemps avec une exactitude bien suffisante pour guider le praticien dans l'application rationnelle des principes essentiels à leur bon fonctionnement. Si la construction des machines frigorifiques ne s'est développée notablement que dans ces dix dernières années, ce n'est pas à l'insuffisance de données théoriques qu'il faut attribuer ce développement tardif, mais plutôt aux difficultés d'exécution que comporte l'établissement de ces machines, et à ce que les divers procédés industriels qui les emploient aujourd'hui ne sont parvenus qu'à une date relativement récente au développement ou à une perfection justifiant cet emploi. Il me suffira de citer les nouvelles méthodes qui ont transformé les procédés anciens de la brasserie, et l'accroissement que prend chaque jour l'industrie de la conservation des viandes et produits alimentaires.

Les progrès réalisés dans la construction peuvent se mesurer par ce fait que l'on construit aujourd'hui couramment des machines à gaz ammoniac liquéfié de 1000^{kg} à 1500^{kg} de glace à l'heure, alors que l'on considérait il y a quinze ans la fabrication d'une petite machine de ce type comme un tour de force, avec bien plus d'appréhension que l'on n'en met actuellement à entreprendre la construction de machines à acide carbonique. Ce n'est pas à dire que, dès maintenant, toutes les difficultés afférentes à la haute pression de ce dernier gaz soient vaincues au point qu'il faille, même pour les pays tem-

(1) *Moniteur industriel*, 6 décembre 1884, p. 391.

pérés, le préférer à tout autre : c'est une question encore indécise, mais il n'en est pas moins vrai que la liquéfaction du gaz acide carbonique est passée de l'état d'expérience de laboratoire dangereuse à l'état d'opération industrielle encore délicate, mais courante et sans danger.

Pour le moment, dans nos climats du moins, le gaz préféré est l'ammoniac anhydre, que l'on se procure facilement par la distillation de l'ammoniaque du commerce; on l'emploie indifféremment dans les machines à compression et à affinité. La lutte reste ouverte entre ces deux systèmes, qui paraissent équivalents, du moins dans les essais de concours, avec des appareils neufs, conduits par des hommes exercés à leurs manœuvres. Nous nous sommes efforcé de présenter le plus équitablement possible le pour et le contre des deux systèmes, mais nous ne pouvons nous empêcher de signaler la préférence accordée par la pratique aux machines à compression, dont la complication apparente disparaît dans la plupart des applications où la chaudière et le moteur à vapeur servent en même temps à d'autres emplois que l'actionnement du compresseur. Quoi qu'il en soit, l'on n'entrevoit dans l'amélioration possible de ces deux types de machines à compression et à affinité aucun perfectionnement de principe : elles paraissent parvenues, comme la machine à vapeur, à ce point de leur développement où le progrès ne se manifeste plus que par des raffinements et des simplifications dans le détail des organes essentiels, ou par des hardiesses de plus en plus heureuses dans l'augmentation de la puissance des appareils.

Il en est sans doute de même pour les machines à air : la théorie semble avoir donné tout ce qu'elle renferme d'essentiel, et la principale difficulté, la congélation de l'humidité de l'air, paraît avoir été vaincue autant qu'on peut le désirer en pratique. Ainsi que nous l'avons dit, nous pensons que ces machines sont, malgré leur rendement frigorifique inférieur, nettement indiquées pour les applications où la question du rendement n'est que secondaire, et pour certains cas où il s'agit d'utiliser directement de l'air à une très basse température. Tel est le cas du refroidissement des cales de navires pour le transport des viandes : application importante, et pour laquelle les ma-

chines à air ont conservé, jusqu'à présent, une sorte de monopole en apparence parfaitement justifié.

S'il semble qu'il y ait, dans le perfectionnement des machines frigorifiques, peu de progrès importants à réaliser, il n'en est pas de même dans leurs applications, dont la plupart naissent à peine, où presque tout est à faire, sauf dans l'application la plus importante : la fabrication de la glace.

C'est ainsi que les applications des machines frigorifiques au refroidissement de l'air sont très imparfaites, parfois même ignorées; on n'a pas même abordé la question du rafraîchissement artificiel des édifices et salles de réunion, aussi importante, dans bien des cas, que celle de leur chauffage, aussi complexe et de même nature, au moins en ce qui concerne la distribution et le renouvellement de l'air froid, et d'autant plus intéressante que la civilisation gagne plus vers les pays chauds. Actuellement, deux méthodes générales sont en présence : la production directe de l'air froid par des machines à air, et sa production indirecte à l'aide de frigorifères activés par des machines à compression ou à affinité. On est à peu près fixé sur la première méthode, qui semble avoir donné presque tout ce que l'on peut en espérer : une atmosphère refroidie par la diffusion de petits volumes d'air très froids et secs obtenus au moyen de machines robustes, sûres, mais bruyantes, vite fatiguées et chères de combustible. L'autre méthode, qui procède par le refroidissement de grandes masses d'air à des températures modérées et d'une répartition plus facile, obtenu au moyen d'appareils économiques mais plus compliqués et plus coûteux d'établissement, paraît théoriquement préférable, à terre du moins, mais n'a pas encore reçu la sanction de la pratique.

La conservation des viandes, qui n'est elle-même qu'une application intéressante de l'air froid, vient aussi à peine d'entrer dans sa période véritablement industrielle; mais son développement, qui dépend en grande partie des perfectionnements à apporter dans la production et la distribution de l'air froid, dépend aussi de circonstances particulières telles, par exemple, que la possibilité d'aménager facilement sur le navire frigorifique des frets de retour. La question ne se présente pas non plus sous les mêmes aspects suivant qu'il

s'agit de conserver à bord d'un navire, et dans un espace très resserré, des viandes gelées d'avance, ou de préserver des produits alimentaires dans un entrepôt de conservation, pour l'approvisionnement d'une ville ou d'une forteresse. Dans ce cas, l'espace ne manque pas; on peut y traiter les viandes, surveillées à loisir, avec plus de ménagements, par des procédés plus économiques que sur les navires et sans les congeler. La lutte est actuellement ouverte, pour cette nouvelle application du froid, entre deux méthodes de refroidissement des salles : l'une procède par le rayonnement de serpentins à circulation de liquide incongelable, comme c'est la règle dans les caves de brasserie, l'autre par l'injection et la dispersion d'air produit directement en petites masses très froides, au moyen des machines à air, ou indirectement, en grands volumes à température moins basses, au moyen de frigorifères actionnés par des machines à gaz liquéfiés.

L'industrie de la fabrication de la glace artificielle, que l'on se procure aujourd'hui presque partout à meilleur compte que la glace naturelle, se développe aussi chaque jour, et peut à peine suffire à la demande; mais il ne nous paraît pas que sa technologie soit susceptible de grands progrès. De toutes les méthodes proposées pour assurer à la glace la transparence exigée par la consommation, l'utilisation directe ou indirecte de la vapeur d'échappement du moteur des machines à air ou à compression paraît le plus économique et le plus rationnel.

Quant aux autres applications du froid, leur examen détaillé ne saurait faire l'objet de ce Mémoire : il fait partie de la technologie même des industries dans lesquelles ces applications jouent un rôle plus ou moins important, où l'on utilise le froid soit directement, soit au moyen d'appareils dont l'adaptation ne dépend souvent en rien de la source même du froid. Ces applications sont, comme nous l'avons vu, très nombreuses; elles se développent et se multiplient chaque jour; le constructeur de machines frigorifiques a le plus grand intérêt à les connaître et à les provoquer, plus d'intérêt même, dans bien des circonstances, qu'à chercher à perfectionner encore sa machine.

TABLE DES MATIÈRES

DU MÉMOIRE DE M. G. RICHARD.

DIVERS MOYENS DE PRODUCTION MÉCANIQUE DU FROID.

MACHINES A AIR.

MACHINES A GAZ LIQUÉFIÉS PAR COMPRESSION.

LES NAISSANCES,

Par M. E. LEVASSEUR (1).

SOMMAIRE.

La régularité des phénomènes démographiques. — La natalité moyenne de la France. — L'histoire de la natalité française. — Le rapport des naissances à la population de 1801 à 1888. — La natalité et les subsistances. — L'étude analytique de la natalité française d'après le sexe. — Les naissances multiples. — Les naissances par mois en France et à l'étranger. — La distribution géographique des naissances en France. — Premières conclusions sur la natalité française.

La régularité des phénomènes démographiques. — Süssmilch avait, dès le milieu du XVIIIe siècle, observé la régularité avec laquelle, dans les sociétés humaines, les grands phénomènes de la vie, naissance, mariage et mort, se reproduisent chaque année en quantité à peu près constante. Il avait même remarqué que les variations qui semblent en apparence troubler cette constance ne sont pas elles-mêmes un effet du hasard et, croyant reconnaître dans cette harmonie des faits le doigt de la Providence, il avait célébré « l'ordre divin » qui préside à la marche de l'humanité. D'autres statisticiens, découvrant la même régularité jusque dans certains phénomènes de la vie morale, ont déclaré, à leur tour, que les actions humaines étaient une pure conséquence des causes extérieures et sociales qui les déterminent, et ils ont conclu à la fatalité.

De ces opinions nous n'avons, en ce moment, à retenir que cette observation : il y a des lois démographiques, c'est-à-dire que les phénomènes de la vie humaine se reproduisent à

(1) Cet article est extrait du second volume de *la Population française* qui paraîtra dans les premiers mois de l'année 1890. Le premier volume a été publié dans le courant de 1889.

peu près en même nombre et de la même manière, tant que les éléments sociaux restent les mêmes, et qu'ils varient dans des limites à peu près déterminables, quand les circonstances changent. Tous les pays où la statistique possède des données suffisantes pour étudier ce problème en fournissent, comme la France, la preuve incontestable.

La natalité moyenne de la France. — Natalité est un mot nécessaire à la science démographique et accepté par l'usage, quoique le Dictionnaire de l'Académie ne lui ait pas encore donné droit de cité. Il peut être pris dans deux acceptions : il désigne, d'une part, le rapport existant à un moment donné entre le nombre des naissances et celui des habitants d'un pays, ou entre le nombre des personnes formant un certain groupe et celui des naissances de ce groupe; d'autre part, il est employé dans un sens plus large pour désigner l'ensemble des études démographiques relatives aux naissances. Nous emploierons plus souvent le mot dans sa première acception.

La *natalité*, en France, est de nos jours, depuis une vingtaine d'années, de 1 par 40 habitants, ou de 25 par 1000 habitants en nombre rond; ce qui signifie qu'en calculant la moyenne des résultats des vingt dernières années, on trouve qu'année moyenne, il est né autant de fois 25 enfants qu'il y avait de milliers d'habitants en France. Voilà le rapport général qui représente la constante de la période contemporaine et qui peut être considérée comme l'expression de la loi des naissances en France, dans le temps présent.

On présente cette expression sous diverses formes. Le rapport à 1000 habitants est la plus commode, parce qu'appliqué aux autres phénomènes de la vie, il fournit un dénominateur commun qui facilite les comparaisons [1].

[1] Représentant la population par P et les naissances par N, on peut chercher :

1° le rapport $\frac{P}{N}$, c'est-à-dire la population divisée par les naissances.

EXEMPLE : soit 1 000 000 habitants et 30 000 naissances,

$$\frac{1\,000\,000}{30\,000} = 33,3 \text{ ou 1 naissance par } 33\,\tfrac{1}{3} \text{ habitants;}$$

2° le rapport P : N :: 1000 : x, d'où $x = \frac{N\,1000}{P}$, c'est-à-dire le nombre

Ce rapport de 25 pour 1000 est une moyenne dont il est nécessaire d'analyser les éléments. Leurs variations n'infirment pas la valeur du fait généralisé, je dirais volontiers l'autorité de la loi. Au contraire, elles la corroborent lorsque les circonstances expliquent la déviation, comme les perturbations des planètes, au lieu d'ébranler la théorie du mouvement des corps célestes, l'ont consolidée quand les astronomes ont pu calculer l'influence exercée par ces corps les uns sur les autres.

Nous donnons, d'après la *Statistique générale de France* (1), le Tableau complet du mouvement de la population depuis le commencement du siècle : c'est, en quelque sorte, le principal texte que nous nous proposons de commenter dans les Chapitres consacrés aux naissances, aux mariages et aux décès.

L'histoire de la natalité française. — Vers la fin du règne de Louis XVI, la natalité française était d'environ 37 naissances par 1000 habitants (2). C'est douze ans plus tard, sous le Consulat, que les maires et les préfets furent tenus de communiquer chaque année à l'administration centrale le mouvement annuel de la population et que ce mouvement a été enregistré d'une manière régulière pour la France entière.

Sur la *Pl. IV* sont trois courbes indiquant : 1° le nombre total des naissances pour chaque année, de 1801 (ou plus exactement, de l'an IX) à 1888; 2° la natalité ou rapport des naissances à la population; 3° le nombre d'hectolitres de froment récoltés chaque année.

---

des naissances multiplié par 1000 et divisé par la population.

EXEMPLE : soit 1 000 000 habitants et 30 000 naissances,

$$\frac{30000 \times 1000}{1\,000\,000} = 30, \qquad \text{d'où} \qquad \frac{N}{P} = \frac{30}{1000}.$$

(1) D'après la *Statistique de la France, Territoire, Population,* 1837, de 1801 à 1806; d'après l'*Annuaire statistique de la France,* de 1806 à 1885, et d'après le *Journal officiel,* pour 1886, 1887 et 1888.

(2) *Voir* le premier volume (Livre I, Chap. XII) de notre Ouvrage *la Population française.*

ANNÉES.	POPULATION recensée ou évaluée (en millions d'hab.) (²).	MARIAGES (par milliers).	NAISSANCES (nombres exprimés en milliers d'unités). ENFANTS légitimes. Garçons.	Filles.	Total (³).	ENFANTS naturels. Garçons.	Filles.	Total (³).	TOTAL. Garçons.	Filles.	Total (³).
An IX (Sept. 1800-1801).	**27.4**	198	443	418	862	21	20	41	464	439	903
X (1801-1802).	27.5	202	451	424	875	21	20	42	473	445	918
XI (1802-1803).	27.6	206	453	421	875	22	20	43	476	442	919
XII (1803-1804).	27.7	207	447	416	863	22	21	43	469	437	907
XIII (1804-1805).	27.7	214	447	419	866	23	22	45	470	441	912
22 Sept. — 31 Déc. 1805	»	53	125	117	242	6	5	12	131	123	255
1806	**29.1**	209	447	421	868	24	22	47	471	444	916
1807	29.2	213	450	425	876	25	23	49	475	449	925
1808	29.3	220	444	418	862	25	24	49	469	443	912
1809	29.5	267	454	425	880	27	25	52	481	451	933
1810	29.6	232	453	425	879	27	25	52	480	450	931
1811	29.8	203	450	419	870	28	27	56	479	447	926
1812	30.0	222	428	399	828	28	27	55	457	426	883
1813	29.9	387	435	405	841	27	26	53	463	432	895
1814 (¹)	29.7	193	485	453	938	28	27	55	513	480	994
1815	29.5	246	459	433	893	30	29	60	490	462	953
1816	29.2	249	468	437	906	31	30	62	500	468	968
1817	29.5	205	456	425	881	32	30	62	488	456	944
1818	29.7	213	441	414	855	30	28	58	471	442	914
1819	29.9	215	475	446	922	33	31	65	508	478	987
1820	30.2	209	461	432	893	33	32	66	494	465	959
1821	**30.4**	222	463	433	897	35	33	68	498	466	965
1822	30.7	235	465	437	902	35	33	69	500	471	972
1823	30 9	261	460	433	893	35	33	69	496	467	963
1824	31.2	237	471	441	913	36	34	71	507	476	984
1825	31.5	243	467	436	904	35	33	69	503	470	973
1826	31.8	247	474	445	920	36	35	72	511	480	992
1827	31.9	255	469	440	909	36	34	70	505	474	980
1828	32.1	246	465	440	906	35	34	70	501	475	976
1829	32.3	250	461	434	896	35	34	69	496	468	965
1830	32.4	270	461	437	899	35	33	68	496	471	968
1831	**32.5**	245	472	442	915	36	34	71	509	477	986
1832	32.8	242	448	421	869	34	33	67	483	454	937
1833	32.8	263	464	434	898	36	35	71	501	469	970
1834	32.9	271	470	441	912	37	35	73	508	477	986
1835	33.2	275	474	445	919	38	36	74	512	481	993
1836	**33.5**	274	466	439	906	37	36	73	504	475	979
1837	33.7	266	450	423	873	35	34	69	485	458	943
1838	33.8	273	460	432	892	35	35	70	495	467	963
1839	33,9	267	457	430	888	35	34	70	493	465	958
1840	34.1	283	453	428	881	36	34	70	489	462	952
1841	**34.2**	282	466	439	905	36	34	71	502	474	976
1842	34.4	280	470	441	912	35	34	70	506	476	982
1843	34.6	285	467	441	908	35	34	69	502	475	978
1844	34.7	279	457	432	890	35	33	69	492	466	959

(¹) Jusqu'en 1814, les nombres se rapportent non à l'Empire français, mais au terri-
grasses. — (³) Dans l'addition des totaux sont compris les trois derniers chiffres qui ne

…PULATION DEPUIS 1801.

DÉCÈS (…mbres exprimés …illiers d'unités).			EXCÉDENTS (nomb. expr. en milliers d'unités) des		RAPPORTS par 1000 habitants.				ANNÉES.
…masculin.	SEXE féminin.	TOTAL (³).	NAISSANCES.	DÉCÈS.	MARIAGES.	NAISSANCES.	DÉCÈS.	EXCÉDENT.	
…0	371	761	142	»	7.3	33.1	27.8	5.1	An IX (Sept. 1800-1801).
…2	379	771	139	»	7.3	33.4	28.0	5.0	X (1801-1802).
…9	432	881	38	»	7.4	33.0	31.9	1.3	XI (1802-1803).
…1	435	897	10	»	7.4	32.7	32.4	0.30	XII (1803-1804).
…4	408	833	79	»	8.0	34.0	31.1	2.8	XIII (1804-1805).
…6	108	224	31	»	»	»	»	»	22 Sept. — 31 Déc. 1805.
…2	379	781	134	»	7.2	31.5	26.9	4.6	1806
…3	389	803	121	»	7.3	31.6	27.4	4.2	1807
…0	372	773	139	»	7.5	31.1	26.4	4.7	1808
…1	357	748	184	»	9.1	31.6	25.4	6.2	1809
…8	351	730	201	»	7.9	31.4	24.6	6.8	1810
…7	368	766	160	»	6.8	31.0	25.6	5.4	1811
…3	365	769	114	»	7.4	29.4	25.6	3.8	1812
…8	366	774	120	»	12.9	29.9	25.9	4.0	1813
…7	405	872	121	»	6.5	33.4	29.3	4.1	1814
…3	369	762	190	»	8.3	32.2	25.8	6.4	1815
…8	355	723	245	»	8.5	33.1	24.7	8.4	1816
…4	366	750	193	»	7.0	32.0	25.4	6.6	1817
…7	377	755	159	»	7.2	30.8	25.4	5.4	1818
…4	391	785	201	»	7.2	32.9	26.2	6.7	1819
…7	382	769	190	»	6.9	31.7	25.4	6.3	1820
…1	369	741	224	»	7.3	31.7	24.3	7.4	1821
…2	384	777	195	»	7.7	31.6	25.2	6.4	1822
…6	367	743	219	»	8.5	31.1	24.0	7.1	1823
…6	377	764	220	»	7.6	31.4	24.4	7.0	1824
…1	398	800	173	»	7.7	30.8	25.3	5.5	1825
…0	416	837	154	»	7.8	31.1	26.3	4.8	1826
…9	391	791	188	»	8.0	30.6	24.7	5.9	1827
…2	415	837	130	»	7.7	30.3	26.0	4.3	1828
…4	397	802	162	»	7.8	29.9	24.9	5.0	1829
…7	400	808	159	»	8.3	29.8	24.9	4.9	1830
…4	395	800	186	»	7.5	30.3	24.6	5.7	1831
…6	467	933	3	»	7.4	28.6	28.5	0.1	1832
…8	403	812	157	»	8.0	29.6	24.8	4.8	1833
…2	455	918	68	»	8.2	29.9	27.8	2.1	1834
…4	401	816	177	»	8.3	29.9	24.6	5.3	1835
…6	370	747	232	»	8.2	29.2	22.3	6.9	1836
…4	428	853	90	»	7.9	28.0	25.3	2.7	1837
…0	406	817	145	»	8.1	28.5	24.2	4.3	1838
…5	386	771	186	»	7.9	28.2	22.7	5.5	1839
…6	402	808	143	»	8.3	27.9	23.7	4.2	1840
…3	390	794	181	»	8.2	28.5	23.2	5.3	1841
…6	409	825	157	»	8.1	28.5	24.0	4.5	1842
…9	399	799	179	»	8.2	28.3	23.1	5.2	1843
…4	384	768	191	»	8.0	27.6	22.1	5.5	1844

…e resté français, après le traité de 1814. — (³) La population recensée est en lettres …rent pas sur le Tableau.

MOUVEMENT DE L

ANNÉES.	POPULATION recensée ou évaluée (en millions d'hab.) ([1]).	MARIAGES (par milliers).	NAISSANCES (nombres exprimés en milliers d'unités).								
			ENFANTS légitimes.			ENFANTS naturels.			TOTAL.		
			Garçons.	Filles.	Total ([2]).	Garçons.	Filles.	Total ([2]).	Garçons.	Filles.	Total ([2]).
1845	34.9	283	469	443	913	34	33	68	504	477	982
1846	**35 4**	268	461	435	896	35	33	68	496	469	965
1847	35.5	249	428	409	837	32	31	64	460	440	901
1848	35.5	293	448	425	873	34	32	66	482	457	940
1849	35.6	278	470	445	915	35	34	70	506	479	985
1850	35.6	297	454	429	884	35	34	69	489	464	951
1851	**35.7**	286	461	440	901	35	34	69	496	474	971
1852	35.9	281	459	435	895	35	34	69	494	470	961
1853	36.1	280	447	421	868	35	33	68	482	454	936
1854	36.2	270	438	415	853	35	34	70	473	449	923
1855	36.1	283	430	407	838	32	31	64	463	438	902
1856	**36.1**	284	453	430	883	34	33	68	488	463	952
1857	36.2	295	446	423	869	36	34	70	482	458	940
1858	36.3	307	458	435	894	37	36	74	496	472	969
1859	36.4	298	481	456	937	40	39	80	522	495	1.017
1860	36.4	288	454	433	887	35	34	69	489	467	956
1861	**37.3**	305	475	452	928	38	37	76	514	490	1.005
1862	37.5	303	472	448	921	37	36	73	510	484	995
1863	37.6	301	479	456	936	39	37	76	518	494	1.012
1864	37.8	299	477	452	929	38	37	75	516	489	1.005
1865	38.0	299	476	452	928	38	38	77	515	490	1.005
1866	**38.0**	303	477	452	929	39	37	76	516	490	1.006
1867	38.1	300	475	455	931	38	37	76	514	493	1.007
1868	38.3	301	465	443	909	38	36	74	503	480	984
1869	36.8	303	449	428	877	36	34	70	485	462	948
1870	36.9	223	446	426	873	35	34	70	482	460	943
1871	36.5	262	393	373	767	29	29	59	422	403	826
1872	**36.1**	352	459	437	896	35	34	69	494	471	966
1873	36.2	321	448	426	875	35	34	70	484	461	946
1874	36.4	303	454	430	885	35	33	69	489	465	954
1875	36.6	300	453	431	884	34	32	66	487	463	950
1876	**36.9**	291	459	439	899	34	32	67	494	472	966
1877	37.0	278	448	428	877	33	33	66	482	461	944
1878	37.2	279	444	424	868	34	33	68	479	457	937
1879	37.3	282	444	425	869	34	32	66	478	457	936
1880	37.5	279	434	417	851	34	33	68	469	450	920
1881	**37.6**	282	444	422	866	35	34	70	480	456	937
1882	37.8	281	441	422	864	36	34	71	477	457	935
1883	37.9	284	442	421	863	37	36	74	479	457	937
1884	37.9	289	440	421	862	38	36	75	478	457	937
1885	38.0	283	436	414	850	38	36	74	474	450	924
1886	**38.2**	283	427	410	838	38	36	74	465	446	913
1887	38.2	277	422	404	826	38	36	74	460	440	899
1888	38.3	277	414	394	808	38	37	75	452	431	883

([1]) La population recensée est en lettres grasses. — ([2]) Dans l'addition des totaux son

OPULATION DEPUIS 1801.

DÉCÈS (nombres exprimés en milliers d'unités).			EXCÉDENTS (nomb. expr. en milliers d'unités) des		RAPPORTS par 1000 habitants.				ANNÉES.
SEXE masculin.	SEXE féminin.	TOTAL ([1]).	NAISSANCES.	DÉCÈS.	MARIAGES.	NAISSANCES.	DÉCÈS.	EXCÉDENT.	
370	371	741	240	»	8.1	28.1	21.2	6.9	1845
410	410	820	144	»	7.6	27.3	23.2	4.1	1846
425	423	849	52	»	7.0	25.4	23.9	1.5	1847
419	417	836	103	»	8.2	26.4	23.5	2.9	1848
487	485	973	12	»	7.8	27.6	27.3	0.3	1849
381	380	761	192	»	8.3	26.7	21.4	5.3	1850
398	400	799	172	»	8.0	27.1	22.3	4.8	1851
406	404	810	154	»	7.8	26.8	22.5	4.3	1852
396	398	795	141	»	7.8	25.9	22.0	3.9	1853
498	494	992	»	69	7.5	25.5	27.4	1.9	1854
486	451	937	»	35	7.8	25.0	25.9	0.9	1855
425	411	837	115	»	7.9	26.3	23.1	3.2	1856
428	430	858	81	»	8.1	25.9	23.7	2.2	1857
431	442	874	95	»	8.4	26.7	24.1	2.6	1858
492	486	979	38	»	8.2	27.9	26.8	1.1	1859
393	388	781	175	»	7.9	26.2	21.4	4.8	1860
435	431	866	138	»	8.2	26.9	23.2	3.7	1861
408	404	812	182	»	8.1	26.5	21.6	4.9	1862
426	420	846	165	»	8.0	26.9	22.5	4.4	1863
434	425	860	145	»	7.9	26.6	22.7	3.9	1864
467	454	921	83	»	7.9	26.5	24.3	2.2	1865
449	434	884	121	»	8.0	26.4	23.2	3.2	1866
441	425	866	140	»	7.9	26.4	22.7	3.7	1867
471	450	922	62	»	7.9	25.7	24.1	1.6	1868
442	421	864	84	»	8.2	25.6	23.4	2.2	1869
553	493	1.046	»	103	6.0	25.5	28.3	2.8	1870
692	578	1.271	»	444	7.2	22.6	34.8	12.2	1871
409	383	793	172	»	9.8	26.8	21.9	4.9	1872
433	410	844	101	»	8.9	26.1	23.3	2.8	1873
400	380	781	172	»	8.3	26.2	21.4	4.8	1874
434	410	845	105	»	8.2	26.0	23.1	2.9	1875
433	400	834	132	»	7.9	26.2	22.6	3.6	1876
414	387	801	142	»	7.5	25.5	21.6	3.9	1877
432	406	839	98	»	7.5	25.2	22.6	2.6	1878
434	405	839	96	»	7.6	25.1	22.5	2.6	1879
443	414	858	61	»	7.4	24.5	22.8	1.7	1880
429	399	828	108	»	7.5	24.9	22.0	2.9	1881
435	402	838	97	»	7.4	24.8	22.2	2.6	1882
436	404	841	96	»	7.5	24.7	22.2	2.5	1883
446	412	858	78	»	7.6	24.6	22.6	2.1	1884
434	402	836	87	»	7.4	24.3	22.4	2.3	1885
446	414	860	52	»	7.4	23.9	22.5	1.4	1886
436	407	843	56	»	7.4	23.5	22.0	1.5	1887
436	402	838	45	»	7.2	23.1	21.9	1.2	1888

compris les trois derniers chiffres qui ne figurent pas sur le Tableau.

On aperçoit du premier coup d'œil qu'il s'est produit dans la suite des naissances des variations de deux espèces : les unes brusques et accidentelles, d'une année à l'autre; les autres, lentes et continues, qui ont déplacé peu à peu la moyenne.

Le siècle s'ouvre avec 903,688 naissances pour l'an IX (23 septembre 1800 — 22 septembre 1801); ces naissances, comparées à une population de près de 27 millions et demi d'habitants (27,445,000), correspondent à une natalité de 33 par 1000 habitants ([1]). Jusqu'en 1811, le nombre a une tendance à augmenter, surtout pendant les deux années de paix (1802 et 1803) qui ont suivi le traité d'Amiens et en l'année 1807, qui peut être considérée comme l'apogée de la puissance de Napoléon et l'époque de la plus grande prospérité de la France sous le premier Empire ([2]). Les difficultés commencent avec la guerre d'Espagne en 1808; elles s'aggravent avec la disette de 1811, dont l'influence sur la natalité s'est produite surtout l'année suivante, et avec la désastreuse campagne de Russie : le chiffre des naissances tombe en 1812 à 883,945.

Le désir d'échapper aux levées anticipées de la conscription avait poussé un nombre considérable de jeunes gens à se marier prématurément en 1813, ainsi que nous le verrons en traitant de la nuptialité; ces mariages ont pour conséquence un nombre de naissances (994 082) plus considérable en 1814 qu'on ne l'avait vu depuis le commencement du siècle. Il faut aller jusqu'à l'an 1859 pour en retrouver un aussi fort; mais, à cette dernière date, il est fourni par une population bien plus nombreuse. Toutefois l'excédent de naissances de 1814 est resté proportionnellement inférieur à l'excédent des mariages

---

([1]) En vendémiaire an XI, le ministre de l'intérieur, Chaptal, fit faire dans un certain nombre de communes, appartenant à trente départements, un relevé d'où il résulta que 2 037 615 habitants donnaient pour trois années 215 599 naissances : d'où une natalité de 35 par 1000.

([2]) La population et les naissances que la Statistique générale de la France a publiés plus tard (*Stat. de la France,* 1837) ne sont pas, ainsi que nous l'avons fait remarquer dans une note précédente, celles de l'Empire français tout entier, dont les limites ont varié, mais celles de la France dans les limites que lui a assignées le traité de 1815.

de l'année précédente : ce qui est conforme à la logique des phénomènes démographiques.

Sous la Restauration, le nombre des naissances a été en général plus élevé que sous l'Empire, parce que la population qui les fournissait était plus nombreuse et qu'elle s'accroissait plus vite pendant une période de paix (1). La seule crise grave que la natalité ait subie dans cette période est celle de la disette de 1817 (2) : la population, appauvrie par le défaut ou par la cherté des subsistances, n'a donné que 944,475 naissances en 1817, et 914,577 en 1818. Les causes agissent directement sur les conceptions; l'effet ne se manifeste d'ordinaire dans toute sa force que par les naissances de l'année suivante.

La *Pl. IV* met en évidence un phénomène digne de remarque. La très forte natalité de 1814 a été suivie, en 1815, d'une natalité inférieure à celle de 1816 ; la faible natalité de 1818 a été suivie, en 1819, d'une natalité supérieure à la moyenne des années suivantes. Lorsqu'un phénomène démographique s'écarte brusquement de la moyenne dans un sens ou dans l'autre, il se produit d'ordinaire une réaction, brusque aussi, dans le sens opposé; l'année suivante, quelquefois même plusieurs années de suite, ce phénomène reste encore écarté de sa moyenne et ne reprend son niveau qu'après plusieurs oscillations, obéissant ainsi à une *loi de compensation.*

Nous aurons occasion de constater l'existence de cette loi dans la nuptialité dans la mortalité.

La crise de 1827 et la langueur des affaires qui en fut pendant plusieurs années la suite semblent avoir agi sur le nombre des naissances, lequel descendit en 1830 à 968 000. Il se releva dès 1831 (3). Mais alors sévissait une crise plus intense, pro-

---

(1) On peut dire, d'une manière générale, que la population était en moyenne de 28 millions sous l'Empire et de 31 millions sous la Restauration.

(2) Le blé valut en moyenne 36fr,16 l'hectolitre.

(3) Il convient de n'être pas très affirmatif sur les conclusions à tirer des chiffres de cette période; car il paraît que les feuilles de plusieurs départements ont été égarées avant l'impression des résultats généraux. Voir *Statistique générale de France, mouvement de la population* 1858-60, Introduction, p. c. — *Voir* aussi l'art. *France*, p. 511, dans le *Dictionnaire enc. des Sc. méd.* — La même observation s'applique aux mariages et aux décès.

duite par la révolution de juillet et aggravée par le choléra : les naissances tombèrent à 937434 en 1832. Elles remontèrent bientôt, suivant le progrès de l'activité industrielle, jusqu'en 1835, année de bonne récolte et de pain à bon marché (993833 naissances, maximum de la période 1830-1848). Elles fléchirent l'année suivante; la crise commerciale de 1837 les abaissa à 943 741. Les légères variations de 1838 à 1846 ne méritent pas qu'on s'y arrête. Mais en 1846, la récolte ayant été très mauvaise, la disette sévissait; l'année 1847 ne donna que 901 861 naissances; depuis la grande disette de 1817 le chiffre n'était jamais descendu si bas.

La réaction commença en 1848 et se produisit complètement en 1849 (958848 naissances), grâce à l'abondance des récoltes ([1]) qui compensèrent en partie l'action dépressive de la révolution et de la crise commerciale. L'année 1850, qui suivit le choléra de 1849, fut une année de compensation en sens contraire.

Le second Empire débuta par une série d'années malheureuses. Les affaires avaient sans doute pris un rapide essor; mais il y eut de mauvaises récoltes ([2]), deux épidémies de choléra, la guerre de Crimée; l'année 1855 n'enregistra que 902 336 naissances. La réaction s'opéra dès 1856, avec la paix de Paris, et porta les naissances, en 1859, au nombre de 1 017 896, lequel n'avait jamais été atteint jusque-là et ne l'a jamais été depuis ce temps.

En 1860, la guerre d'Italie amena une réaction passagère en sens contraire. Puis, jusqu'en 1868, l'équilibre se maintint et le nombre resta supérieur à 1 million; il est juste d'ajouter que la population qui les fournissait avait augmenté tout à coup par l'annexion de la Savoie et d'une partie du comté de Nice ([3]).

Le pays souffrait d'un malaise économique, lorsque les terribles événements de 1870 et de 1871 accablèrent tout à coup

---

([1]) De 1848 à 1851, l'hectolitre de blé a valu en moyenne de 16fr à 14fr.

([2]) Le blé en 1853, 1854, 1855 a valu 22fr, 28fr et 29fr l'hectolitre.

([3]) A partir de l'année 1869, le relevé des actes de l'état civil ne comprend plus l'Alsace-Lorraine, que les administrations n'avaient pas encore adressé au ministre à l'époque de la guerre : ce qui explique le chiffre de 943,525 naissances en 1869.

la population française. Le territoire avait été envahi par l'ennemi ; les hommes valides étaient sous les armes, les transactions se trouvaient en grande partie suspendues ; la consternation et la misère régnaient. Le nombre des naissances tomba à 826 821, le chiffre le plus bas qu'on eût jamais enregistré au XIXe siècle, quoique la France eût alors près de dix millions d'habitants de plus qu'en 1801. Elle venait cependant d'en perdre un million et demi par le fait de la séparation de l'Alsace-Lorraine, et sa population amoindrie devait fournir nécessairement moins de naissances dans les années précédentes.

Après la réaction compensatrice de 1872, suivie de quelques oscillations, les naissances étaient montées à 966 682 en 1876. Elles ont faibli ensuite jusqu'à 920 177 en 1880, pour se relever légèrement dans les années suivantes à 937 944, puis retomber encore depuis 1885 et descendre enfin, en 1888, à 882 639. Le nombre des naissances au XIXe siècle n'a été que deux fois au-dessous de 900 000 : en 1871 et en 1888.

Jusque vers 1885, cet amoindrissement avait pu être attribué, en partie au moins, à la funeste guerre de 1870-1871. En faisant périr un grand nombre de jeunes gens de 20 à 25 ans, cette guerre avait diminué le nombre de ceux qui arrivaient à l'âge du mariage une dizaine d'années plus tard, et, par suite, le nombre des naissances.

On pouvait assigner aussi une autre cause à cet amoindrissement. Les naissances ayant été peu nombreuses de 1850 à 1855, les hommes nés à cette époque étaient arrivés à l'âge du mariage vers 1880 ; ils ont fourni une nuptialité faible, et, par suite, une faible natalité.

Toutefois ces deux causes ne pouvaient avoir qu'un effet momentané. Si donc, comme on le constate depuis une dizaine d'années, l'effet persiste, c'est-à-dire si la natalité descend et continue à avoir cette tendance encore pendant un certain temps, c'est que la population française renferme en elle une cause plus générale, partant plus grave, d'amoindrissement de la natalité.

On peut donc lire, ainsi que nous venons de le faire, quelques-uns des grands faits de l'histoire et surtout de l'histoire économique de la France sur la courbe des naissances : la

natalité porte l'empreinte de la politique et des mœurs. La population, qui vit de richesse et qui prospère par le travail et dans la sécurité, est un thermomètre sensible qu'affectent les crises sociales, politiques, commerciales, et surtout les crises alimentaires.

Si tous les événements favorables ou défavorables ne laissent pas nécessairement leur trace sur cette courbe, c'est que les causes qui modifient l'état démographique d'un peuple sont toujours complexes et que l'effet de certaines causes peut être annulé quand leur action se produit en sens contraire; c'est ainsi que la crise commerciale de 1848-1849 a été compensée par des récoltes abondantes.

Les limites extrêmes des variations de la courbe des naissances sont 826 121 en 1871, et 1 017 896 en 1859. L'écart est de plus de 191 000. L'amplitude de ces variations ne dépasse pas 10 pour 100 en dessus ou au-dessous de la moyenne. Le nombre total des naissances a donc incontestablement une certaine fixité.

A travers les variations annuelles, la courbe des naissances a eu une certaine tendance générale à s'élever jusqu'en 1867; conséquence de l'augmentation de la population qui, étant inférieure à 27 millions et demi en 1801, avait dépassé le chiffre de 38 millions en 1866. Mais, depuis 1872, elle a une inclinaison sensible vers la baisse, quoique depuis la guerre franco-allemande, le nombre des habitants, qui avait tout à coup diminué de plus de 2 millions, soit remonté au-dessus du niveau atteint en 1866; néanmoins le nombre des naissances est inférieur à celui des premières années du siècle.

Le rapport des naissances à la population de 1801 *à* 1888. — Ces changements survenus dans le nombre des habitants masquent quelque peu le véritable état des choses. On le dégage mieux en calculant le rapport des naissances à la population, c'est-à-dire la natalité proprement dite. Nous avons dit qu'elle était probablement de 33 en 1801, taux inférieur à celui du règne de Louis XVI; nous la trouvons à 23,1 en 1888. La natalité française a donc considérablement diminué : on le voit en regardant sur la figure la courbe qui la représente.

Pour simplifier les données du problème et éliminer une partie des causes accidentelles, il est bon d'examiner le taux moyen par périodes décennales (¹) :

Périodes décennales.	Nombre de naissances annuelles par 1000 habitants.
1801-1810	32,2 (²)
1811-1820	31,6
1821-1830	30,8
1831-1840	29,0
1841-1850	27,4
1851-1860	26,3
1861-1870	26,3 (³)
1871-1880	25,4
Période de 8 ans.	
1881-1888	24,0

Les chiffres de ce Tableau ne sont pas à l'abri de la critique. Avant 1789, lorsque des statisticiens évaluaient la natalité à 39 par 1000 (nous l'avons évaluée à 37), ils n'avaient pour l'établir, comme nous l'avons dit, ni un recensement, ni la

(¹) Ces moyennes résultent, depuis 1806, des rapports annuels qui ont été calculés par M. Loua, chef du bureau de la Statistique générale, pour l'*Annuaire statistique de la France*. Ce sont celles que nous donnons au commencement de ce Chapitre, dans le Tableau général du mouvement de la population. Elles diffèrent quelque peu des moyennes insérées dans la *Statistique générale de France*, t. XX de la 2ᵉ Série, p. 15, et des moyennes calculées par le Dʳ Bertillon (Voir *Annales de Démographie*, nº 1, p. 16). Le Dʳ Bertillon établissait par le calcul la population moyenne en modifiant le résultat des recensements d'après l'excédent des naissances sur les décès et l'évaluation de l'émigration et de l'immigration; ce procédé est théoriquement plus exact, mais l'imperfection des données relatives à l'état de la population nous paraît interdire, quelque procédé que l'on choisisse, l'espérance d'un résultat absolument précis et nous préférons, pour ne pas compliquer le problème, conserver les données des recensements (27 347 000 en 1801).

(²) M. Bertillon trouve, pour la période 1801-1810, une moyenne de 32,9 parce qu'il évalue la population de 1806 à un chiffre bien inférieur à celui que le recensement (29107000) a donné. En acceptant le résultat du recensement de 1806, l'*Annuaire statistique de la France* donne un résultat qui est de 31,2 pour la période quinquennale 1806-1810.

(³) La natalité de cette période est rendue incertaine, parce que le mouvement de la population des provinces perdues en 1871 ne figure pas dans les totaux des années 1869 et 1870.

série complète des naissances, et leur calcul n'aboutissait qu'à une probabilité. Depuis 1801, la statistique dispose de la série complète des naissances annuelles. Mais, jusqu'en 1817, les données ne méritent pas une entière confiance; de 1817 ou de 1821 à 1831, on est certain qu'il y a eu des omissions dans les relevés; jusqu'en 1841, les mort-nés ayant été en partie omis et en partie enregistrés avec les naissances en grossissent quelque peu le total, et, de 1841 à 1853, ils sont encore fréquemment confondus avec elles. Aujourd'hui même, nous n'oserions pas affirmer que les relevés envoyés par les maires et vérifiés par les parquets sont, malgré les précautions prises par l'administration, toujours exempts de fautes d'addition.

Les recensements, qui fournissent un des deux termes du rapport, existent; mais ils ne sont devenus régulièrement quinquennaux que depuis 1831. Dans l'intervalle d'un recensement à l'autre, il faut suppléer à leur défaut par une population calculée approximativement d'après la différence des naissances et des décès. D'autre part, les recensements se sont améliorés peu à peu; un de leur progrès a consisté surtout à éviter des omissions [1]. D'où il suit, comme conséquence probable, que les premiers termes de comparaison étant relativement plus faibles [2] que les derniers, le rapport calculé pour les premières périodes peut se trouver quelque peu exagéré, et la natalité être ainsi amoindrie en apparence plus qu'elle ne l'a été en réalité. Néanmoins, il n'est pas douteux qu'elle ait commencé déjà à faiblir pendant le premier Empire, et qu'elle ait faibli d'une manière continue et sensible pendant la Restauration et le règne de Louis-Philippe.

Ces critiques imposent à la statistique une certaine réserve dans les conclusions, surtout lorsqu'elle se trouve en présence de différences minimes. Certainement, la natalité française a

---

(1) C'est une des raisons pour lesquelles nous n'avons pas employé les résultats du savant Dr Bertillon qui, en diminuant de plus d'un million le recensement de 1806, après avoir augmenté arbitrairement d'un million environ celui de 1801, trouve une plus grande différence que nous entre la natalité du commencement du siècle et la natalité actuelle.

(2) Excepté peut-être pour le recensement de 1806, que nous supposons avoir quelque peu exagéré.

faibli dans les cinquante premières années du siècle; car on passe d'environ 32,2 par 1000, natalité moyenne de la première période, à 27,4 par 1000 pour la période 1841-1850 et à 26,3 par 1000 pour la période 1851-1860.

Quoique ce temps soit celui où les causes d'erreur provenant de l'inscription des mort-nés et de l'insuffisance des recensements pèsent le plus lourdement sur les rapports, l'écart est trop considérable pour qu'il n'y ait pas eu une décroissance réelle. De combien ? Peut-être de 5 naissances par 1000 habitants. C'est ici que la réserve s'impose : le résultat ne saurait être très précis avec de telles données ([1]).

C'est dans la seconde moitié de ce siècle, surtout à la suite des études de Léonce de Lavergne, que les plaintes sur la décroissance de la natalité française se sont multipliées, et que, répétées par la presse, elles ont commencé à inquiéter l'opinion publique. Cependant, il est facile de voir que cette décroissance a été en somme moindre durant les quarante dernières années que durant les cinquante qui avaient précédé.

Dans la première période, le taux le plus haut avait été de 33 par 1000 en 1802, à l'époque de la paix d'Amiens, et en 1814, à la suite des mariages hâtifs de 1813, et le plus bas de 25,4 par 1000 : ce dernier était un accident causé par la disette de 1847.

Dans la seconde, le taux n'a jamais dépassé 27,9 par 1000 (natalité de 1859); il est tombé dès 1855, sous la double influence du choléra et de la guerre, plus bas que dans la

---

([1]) Schnitzler (*Statistique générale méthodique et complète de la France*, t. I, p. 280), calculant par périodes quinquennales pour les naissances et les comparant à la population recensée au milieu de la période, trouvait les rapports suivants :

1819-1823....	1 naissance pour	$31 \frac{1}{2}$ habitants
1824-1828	»	$34 \frac{1}{2}$ »
1829-1833	»	$33 \frac{19}{20}$ »
1834-1838	»	$35 \frac{1}{2}$ »
1839-1843	»	$35 \frac{2}{5}$ »

Il ajoutait que cela pouvait être la conséquence « d'un recensement de plus en plus exact de la population générale dont le chiffre avait peut-être été d'abord amoindri ».

première période (à 25 par 1000), bien plus bas encore en 1871, où il n'a été que de 22,6 par 1000; et en 1888, où il a été de 23,1 par 1000.

Si l'on compare la moyenne de la période 1851-1860 à celle de la période 1881-1888, on trouve une diminution de 2,3 naissances par 1000 habitants : symptôme inquiétant.

Nous avons fait remarquer que la décroissance du nombre total des naissances, de 1872 à 1880, à laquelle correspond une décroissance de la natalité (de 26,8 en 1872 à 24,5 en 1880), pouvait avoir entre autres causes celle de la diminution du nombre des mariages, laquelle était elle-même une conséquence de la guerre et peut-être de la faible natalité des années 1850-1855. Nous avons ajouté que ces causes ne pouvaient avoir qu'un effet temporaire.

Or, les causes se succèdent et l'effet persiste : la natalité française est incontestablement en décroissance. Il y a là, suivant notre opinion, un danger pour la France au point de vue politique, peut-être même au point de vue économique.

Sans l'exagérer par des déclamations passionnées, il convient de constater d'abord avec précision les faits; nous examinerons les conséquences dans un autre chapitre.

La natalité et les subsistances. — Parmi les causes qui ont exercé une influence dépressive sur la natalité, les disettes ont peut-être été les plus énergiques; nous avons signalé celles de 1811, de 1817, de 1847 : cette influence est sensible sur la courbe de la natalité (*voir* la courbe qui se trouve sur la *Pl. IV*).

Lorsque le pain est cher, la masse de la population, que le salaire suffit à peine à faire vivre en temps ordinaire, souffre; la mortalité augmente dans cette masse. Ceux qui songeaient au mariage, étant obligés de restreindre leurs dépenses, ajournent l'exécution de leur projet; la diminution des naissances, qui est en partie la conséquence de cette abstention, se manifeste surtout pendant l'année qui suit la disette.

Si, depuis 1860, l'influence des mauvaises récoltes est à peine apparente, c'est qu'elle est neutralisée, d'un côté, par l'accroissement du salaire, qui permet à l'ouvrier une alimen-

tation plus abondante et plus variée; d'un autre côté, par l'importation de grains étrangers qui supplée à l'insuffisance de l'approvisionnement national et modère la hausse des prix. On voit là un des résultats les plus louables du progrès de la richesse et du commerce.

L'étude analytique de la natalité française d'après le sexe. — Après l'histoire générale, il reste à faire l'analyse de la natalité, c'est-à-dire à étudier séparément les éléments dont elle se compose.

Le rapport des *sexes* est un des plus fixes que la statistique enregistre. Depuis le commencement du siècle, il s'est maintenu entre 106,5 et 104 naissances masculines pour 100 naissances féminines. Les événements qui ont le plus troublé la natalité ne l'ont pas affecté; en 1871, il y a eu 105 naissances masculines pour 100 naissances féminines. Il est, en moyenne, de 105 pour 100 depuis vingt ans (1869-1888). Il y a là évidemment un phénomène d'ordre physiologique dont la Science, malgré quelques essais d'explication, n'a pas pénétré le secret et qui paraît soumis aux lois de la nature plus que dépendant de la volonté de l'homme.

Cependant, quand on observe ce rapport depuis le commencement du siècle, on remarque qu'il a une légère tendance à décroître : c'est ce que montrent les moyennes quinquennales.

NOMBRE DE NAISSANCES DE GARÇONS.

	Sur 100 naissances légitimes de filles.	Sur 100 naissances illégitimes de filles.	Sur 100 naissances (légitimes et illégitimes).
1801-1805.........	106,8	106,7	106,8
1806-1810.........	106,2	106,7	106,3
1811-1820.........	106,9	104,2	106,8
1821-1825.........	106,4	104,0	106,3
1826-1830.........	106,1	104,0	105,9
1831-1835.........	106,7	104,5	106,5
1836-1840.........	106,2	103,4	106,0
1841-1845.........	106,0	103,5	105,8
1846-1850.........	105,4	103,3	105,3

	Sur 100 naissances légitimes de filles.	Sur 100 naissances illégitimes de filles.	Sur 100 naissances (légitimes et illégitimes).
1851-1855...	105,5	102,9	105,4
1856-1860.........	105,3	103,8	105,1
1861-1865.........	105,3	103,2	105,1
1866-1870.........	104,9	104,4	104,8
1871-1875.........	105,2	103,7	104,0
1876-1880.........	104,5	104,0	104,5
1881-1885.........	104,9	104,6	104,8
1886-1888.........	104,7	103	104,6

En second lieu, la proportion dans les naissances illégitimes est toujours moins forte que dans les légitimes, comme le tableau précédent le fait voir; elle n'est, en moyenne, dans la seconde moitié du siècle, que de 103,8 pour 100, au lieu de 105.

En troisième lieu, elle paraît généralement moins forte dans les villes que dans les campagnes. La moyenne, calculée par la période 1801-1865, est de 103 pour le département de la Seine, de 104,3 pour le reste de la population urbaine, de 105,3 pour la population rurale. Il ne faut pas croire que les naissances illégitimes, plus nombreuses dans les villes que dans les campagnes, influent sensiblement sur ce résultat; car, en se bornant aux légitimes, on trouve 103,6, 104,6 et 105,7.

Nous étudierons les causes de ce phénomène en comparant la natalité de la France à celle des autres pays.

Les naissances multiples. — Les grossesses multiples sont peu nombreuses en France où, sur 100 accouchements, on en trouve à peine 1 de ce genre, c'est-à-dire à peu près 2 jumeaux sur 100 naissances ([1]). La Statistique générale de France, calculant sur les 19 millions et demi de naissances de la période 1867-1886, a trouvé 9,6 accouchements multiples par 1000 naissances. La proportion dépasse ou atteint 11 pour 1000

([1]) En 1885, sur 958 697 accouchements, il y en a eu 9651 doubles et 84 triples. Ces accouchements produisent plus de mort-nés que les accouchements simples.

dans les départements de la Vendée (13 pour 1000), de la Savoie et de la Haute-Savoie, du Morbihan, des Vosges, de la Mayenne, des Ardennes, du Finistère, de la Moselle, des Côtes-du-Nord, des Hautes-Alpes, de la Meuse et de la Seine-Inférieure (11 pour 1000), c'est-à-dire en Bretagne et dans les Alpes, habitées principalement par la race dite celtique, et dans la région du nord, où la race est mélangée de sang germanique. Au contraire, c'est en général dans le sud qu'on en compte le moins; la Charente (7,8 pour 1000), le Lot, la Corse, la Lozère, l'Ain, la Corrèze, la Haute-Garonne, le Gers, la Gironde (6,3 pour 1000), auxquels il faut ajouter la Seine, population mélangée, sont les départements où ce phénomène est le plus rare.

Naissances par mois. — Chaque saison apporte son contingent de naissances. La différence qui existe sous ce rapport entre chaque mois est à peu près constante et se reproduit avec la même régularité que le retour de la plupart des autres phénomènes de la natalité. Elle apparaît dans le Tableau suivant, qui contient ce renseignement sous trois formes.

La première est la moyenne mensuelle pour la période 1856-1865 (calculée par la Statistique générale de France) avec la distinction de la légitimité et de l'illégitimité, de la population totale, de la population rurale et de celle du département de la Seine; la seconde est la moyenne pour la période 1869-1884 de la France entière. Pour obtenir ces moyennes, le nombre total des naissances a été ramené à 12 000 et les mois rendus égaux, représentant chacun un douzième de l'année, procédé qui facilite la comparaison [1]. La troisième, calculée par M. Turquan pour la période 1853-1885 (33 ans) qui embrasse les deux précédentes, donne le nombre moyen de naissances vivantes par jour de chaque mois : procédé dont le résultat est un peu plus précis que le précédent.

---

[1] Villermé avait fait un travail analogue pour la période 1817-1824; la distribution par mois est à très peu près la même que celle que nous donnons. En Suède, la comparaison a été établie pour les périodes 1749-1763 et 1850-1854 : les résultats sont à très peu près les mêmes.

NAISSANCES PAR MOIS

(les mois, pour les sept premières colonnes de chiffres, étant ramenés à l'égalité : $\frac{1}{12}$ d'année) ramenées à 12 000 pour l'année entière.

MOIS de la conception probable.	MOIS de la naissance.	MOYENNE DE 1856-1865 (10 ans). FRANCE entière. légit.	illégit.	DÉPARTEMENT de la Seine. légit.	illégit.	POPULATION rurale. légit.	illégit.	MOYENNE de 1869-1884 (16 ans).	NOMBRE moyen des naissances par jour de chaque mois pendant la période 1853-1885 (33 ans).
Avril.	Janvier.	1038	1100	1013	1054	1049	1043	1015	2680
Mai.	Février.	1099 +	1131	1059 +	1066 +	1003	1111 +	1074	2847
Juin.	Mars.	1098	1095	1056	1046	1109	1109	1080 +	2840
Juillet.	Avril.	1055	1134 +	1035	1023	1063 +	1070	1052	2759
Août.	Mai.	990	1007	1020	1002	985	988	1023	2600
Septem.	Juin.	936 —	947	990	950 —	919 —	914	965	2480
Octobre.	Juillet.	942	912	998	979	919 —	921 —	964	2481
Novem.	Août.	954	891 —	993	950	941	941	969	2502
Décemb.	Septem.	981 +	926	980	982	987	984 —	979	2562
Janvier.	Octobre.	961	920	940 —	955	971	966	953 —	2503
Février.	Novem.	983	956	950	971	987	992	968	2564
Mars.	Décemb.	963	978	966	1022	967 +	961	958	2508

Janvier, février, mars, avril et même mai, c'est-à-dire les mois d'hiver et de printemps sont ceux qui fournissent le plus de naissances; l'été, comprenant juin, juillet et août, est la saison qui en fournit le moins. La différence entre les deux extrêmes, février et juin, est de 173 naissances (1) ou d'environ 15 pour 100.

En général, les quatre ou cinq premiers mois de l'année sont au-dessus de la moyenne ; les autres sont au-dessous.

En se reportant à neuf mois en arrière (2) on remonte à la

(1) Moyenne des naissances légitimes et illégitimes.

(2) La durée de la grossesse normale (accouchement à terme) varie de

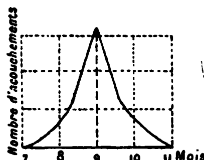


Fig. 1. — Durée de la grossesse.

276 à 280 jours. Quételet a tracé ainsi (*fig.* 1) la courbe approximative des accouchements donnant des enfants vivants (*Phys. soc.*, I, 161).

cause des naissances. On s'aperçoit, d'une part, que les conceptions les plus nombreuses correspondent aux mois d'avril, de mai, de juin et de juillet, c'est-à-dire à la belle saison, que mai est le mois le plus riche en conceptions légitimes, parce que, ainsi que nous le verrons plus loin, beaucoup de mariages sont contractés après le Carême dans les pays catholiques, que le mois de juillet, pendant lequel on se répand dans la campagne et la moisson rassemble un grand nombre d'hommes et de femmes dans les champs, l'emporte pour les naissances naturelles ; d'autre part, que les conceptions sont rares en septembre, époque où les labours tiennent la population rurale occupée et retardent les mariages, qu'en général les trois mois d'hiver sont médiocrement propices à la natalité. On comprend alors pourquoi la différence est moins marquée dans les villes qu'à la campagne. L'homme a sur la plupart des animaux le privilège de se reproduire à toute époque de l'année ; cependant il paraît subir dans une certaine mesure, comme toute la nature, l'influence de la mauvaise saison [1].

La distribution géographique des naissances. — Il y a une géographie démographique : ce qui veut dire que les lieux, le climat, la race, l'état social exercent une influence sur les phénomènes de la vie et impriment à chaque région un cachet particulier. Le Dr Bertillon est le statisticien qui a le plus étudié, sous ce rapport, la géographie départementale. Nous donnons d'après ses calculs, pour les périodes antérieures à 1870, et d'après la Statistique générale de France, pour la période 1877-1886, les dix départements qui figurent à chaque période au premier et au dernier rang de la natalité française.

[1] Quételet (*Physique sociale*, I, 208) a étudié aussi l'heure de la nais-

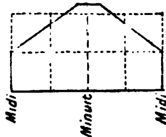


Fig. 2. — Heure de l'accouchement.

sance et tracé la courbe ci-jointe (*fig.* 2), qui n'est aussi qu'une simple approximation.

MAXIMUM.

Numéros d'ordre.	1801-10. — De 44 à 37 naissances par 1000 habit.	1821-30. — De 39 à 35 naissances par 1000 habit.	1841-50. — De 36,6 à 32,1 naissances par 1000 habit.	1861-69. — De 34 à 30,6 naissances par 1000 habit.	1877-86 (¹). — De 34,6 à 29,6 naissances par 1000 habit.
1	Pyrénées-Or.	Haut-Rhin.	Pyrénées-Or.	Haut-Rhin.	Finistère.
2	Bas-Rhin.	Finistère.	Cher.	Finistère.	Lozère.
3	Var.	Seine.	Bas-Rhin.	Bas-Rhin.	Nord.
4	Haut-Rhin.	Drôme.	Haut-Rhin.	Nord.	Morbihan.
5	Cher.	Pyrénées-Or.	Gard.	Pyrénées-Or.	Pyrénées-Or.
6	Finistère.	Loire.	Finistère.	Aveyron.	Corse.
7	Indre.	Rhône.	Hte-Vienne.	Loire.	Alpes-Marit.
8	Landes.	Bas-Rhin.	Ardèche.	Lozère.	P.-de-Calais.
9	Meurthe.	Cher.	Loire.	Corrèze.	Corrèze.
10	Vendée.	Vaucluse.	B.-du-Rhône.	Hte-Vienne.	Aveyron.

(¹) *Période 1877-86. — Naissances par 1000 habitants.*

	Rapport pour 1000.		Rapport pour 1000.		Rapport pour 1000.
Ain	22,1	Finistère	34,3	Nord	31,6
Aisne	23,1	Gard	27,1	Oise	21,8
Allier	23,9	Garonne (Hte-)	20,2	Orne	18,5
Alpes (Basses-)	25,0	Gers	17,1	Pas-de-Calais	30,3
Alpes (Hautes-)	28,9	Gironde	20,9	Puy-de-Dôme	21,5
Alpes-Maritimes	30,4	Hérault	22,9	Pyrénées (Bas.-)	25,4
Ardèche	29,0	Ille-et-Vilaine	28,3	Pyrénées (Htes-)	21,5
Ardennes	22,4	Indre	24,4	Pyrénées-Orles	30,9
Ariège	22,9	Indre-et-Loire	20,0	Rhône	22,5
Aube	19,3	Isère	22,8	Saône (Haute-)	21,9
Aude	24,8	Jura	23,5	Saône-et-Loire	25,1
Aveyron	29,4	Landes	25,4	Sarthe	20,2
Belfort (Terre de)	27,4	Loir-et-Cher	23,0	Savoie	25,8
B.-du-Rhône	27,0	Loire	28,0	Savoie (Haute-)	25,6
Calvados	20,2	Loire (Haute-)	27,2	Seine	27,1
Cantal	24,3	Loire-Inférieure	25,1	Seine-Inférieure	23,4
Charente	21,4	Loiret	24,5	Seine-et-Marne	22,0
Charente-Inférre	21,5	Lot	21,1	Seine-et-Oise	22,2
Cher	25,1	Lot-et-Garonne	16,9	Sèvres (Deux-)	23,3
Corrèze	29,8	Lozère	32,6	Somme	23,1
Corse	30,9	Maine-et-Loire	20,1	Tarn	22,6
Côte-d'Or	19,2	Manche	21,9	Tarn-et-Garonne	18,1
Côtes-du-Nord	29,1	Marne	24,3	Var	21,1
Creuse	22,1	Marne (Haute-)	20,8	Vaucluse	21,8
Dordogne	26,3	Mayenne	23,5	Vendée	27,0
Doubs	26,1	Meurthe-et-Mose	23,8	Vienne	23,4
Drôme	22,8	Meuse	21,0	Vienne (Haute-)	29,2
Eure	18,6	Morbihan	31,0	Vosges	25,0
Eure-et-Loir	22,8	Nièvre	22,8	Yonne	18,7

MINIMUM.

NUMÉROS d'ordre.	1801-10. — De 28 à 14 naissances par 1000 habit.	1821-30. — De 26 à 22 naissances par 1000 habit.	1841-50. — De 23,1 à 19,3 naissances par 1000 habit.	1861-69. — De 20,9 à 18,5 naissances par 1000 habit.	1877-86. — De 20,1 à 16,9 naissances par 1000 habit.
1	Seine-Infér.	Lot.	Indre-et-L.	Meuse.	Maine-et-L.
2	Lot.	Deux-Sèvres	Charente.	Yonne.	Indre-et-L.
3	Eure-et Loir.	Maine-et-L.	Manche.	Tarn-et-Gar.	Aube.
4	Seine-et-Oi**.	Tarn-et-Gar.	Tarn-et-Gar.	Aube.	Côte-d'Or.
5	Manche.	Eure.	Aube.	Indre-et-L.	Yonne.
6	Orne.	Manche.	Gers.	Calvados.	Eure.
7	Aveyron.	Lot-et-Gar.	Lot-et-Gar.	Eure.	Orne.
8	Eure.	Orne.	Eure.	Gers.	Tarn-et-Gar.
9	Vienne.	Calvados.	Orne.	Orne.	Gers.
10	Calvados.	Gers.	Calvados.	Lot-et-Gar.	Lot-et-Gar.

Les rangs changent d'une période à l'autre ; cependant, depuis le commencement du siècle, on retrouve à peu près les mêmes départements au commencement ou à la fin de la liste.

L'Alsace, le Massif central, la Bretagne (¹), la Flandre et l'Artois, le Roussillon ont évidemment une natalité relativement forte dont la supériorité a subsisté, malgré la diminution générale de la natalité française. Au contraire, la Normandie, les plaines de la Garonne, certaines parties de la Champagne et de la Bourgogne sont caractérisées par le petit nombre de leurs naissances.

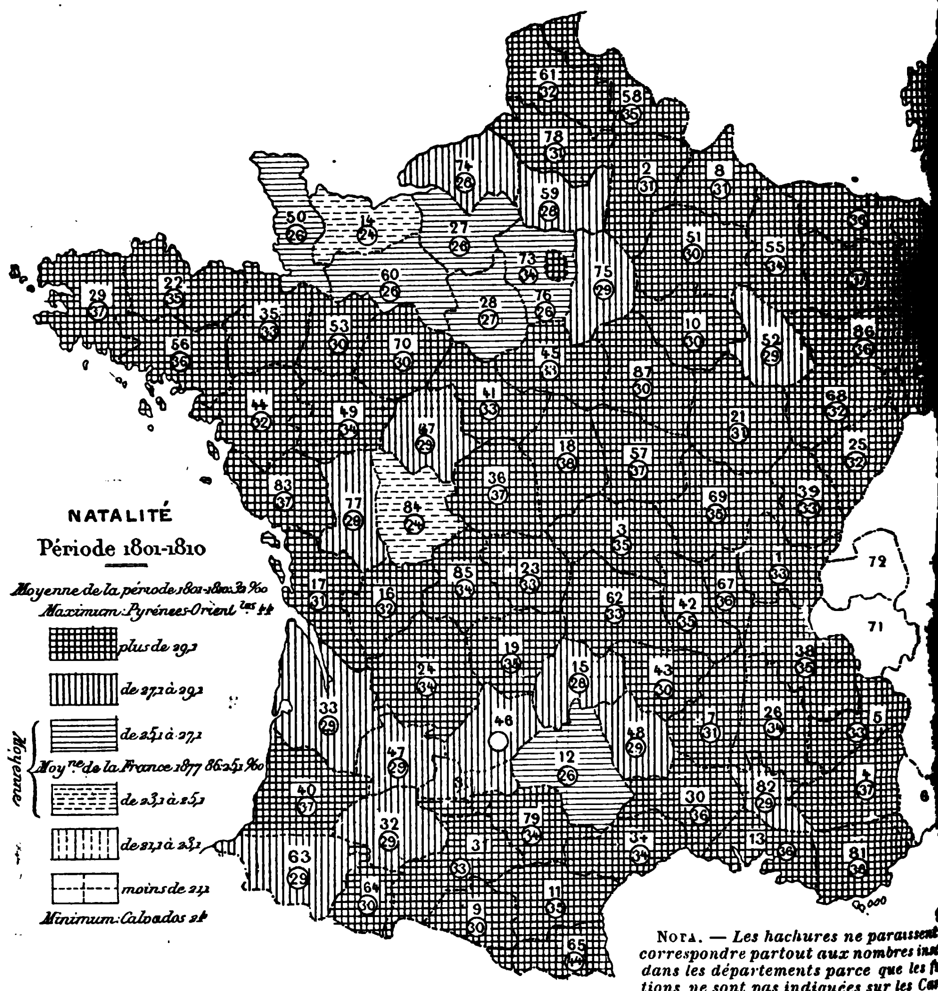
Les trois Cartes ci-jointes (*fig.* 3, 4 et 5) dont les deux premières ont été dressées d'après les calculs du Dr Bertillon et la troisième d'après ceux de la Statistique générale de France (²), font voir les changements qui se sont pro-

(¹) Cependant la Bretagne avait, sous Louis XVI, une faible natalité par mariage.

(²) *Voir*, pour les deux premières, l'article *France*, dans le *Dictionnaire des Sciences médicales* (p. 576-577), et, pour la troisième, l'*Annuaire statistique de la France* et les publications de la Statistique générale de France dans le *Journal officiel*. La manière dont sont établis les rapports dans les deux documents n'est pas absolument identique, le Dr Bertillon et la Statistique générale n'ayant pas adopté, ainsi que nous l'avons déjà dit, la même population calculée.

duits dans la natalité de chaque département à trois époques

Fig. 3.

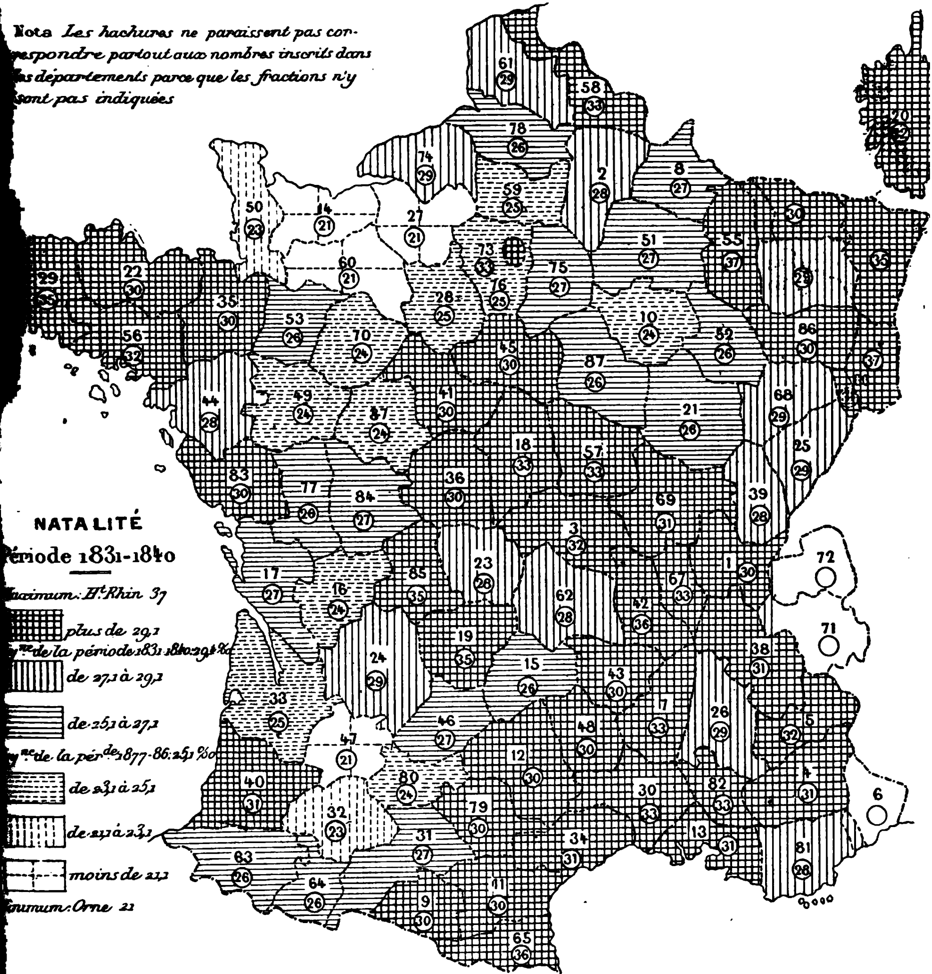


Natalité française par départements de 1801 à 1810.

correspondant, la première à la plus forte natalité de la France au XIXe siècle, la seconde à sa natalité moyenne, et la troi-

sième à sa natalité actuelle, c'est-à-dire à la plus faible. Tous

Fi.g 4.

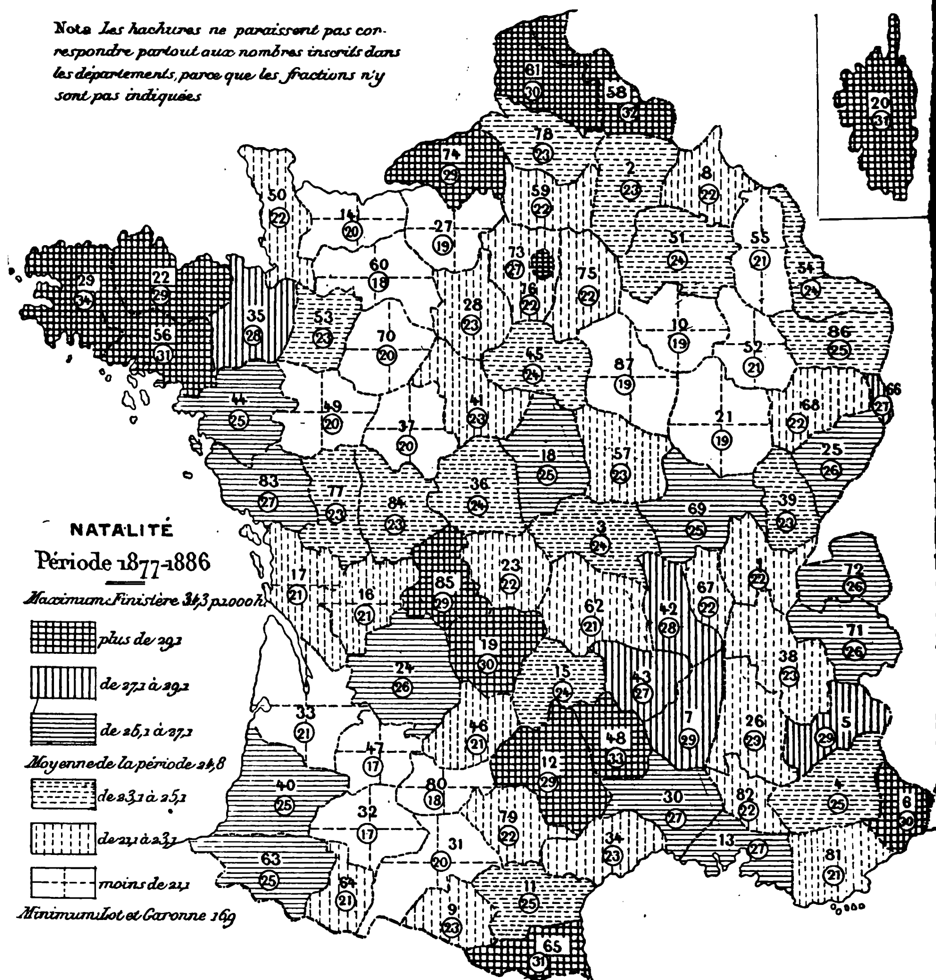


Natalité française par départements de 1831 à 1840.

les départements, sans exception, ont vu leur natalité diminuer dans l'intervalle d'une période à l'autre. Comme les trois cartes

sont teintées d'après la même moyenne (celle de la période

Fig. 6.



Natalité française par départements de 1877 à 1886.

1877-1881 dont nous ne donnons pas la carte), on aperçoit du premier coup d'œil que 2 départements seulement descen-

daient au-dessous en 1801-1810, 16 en 1831-1840 et qu'il y en a 52 en 1877-1886. Le Lot-et-Garonne, qui, dans la troisième période, occupe le dernier rang avec 16,9 naissances par 1000 habitants, en comptait 29 de 1801 à 1810; 24 de 1811 à 1830; 21 de 1831 à 1840; 19,8 de 1841 à 1850; 18,9 de 1851 à 1860; et 18,5 de 1861 à 1869.

A l'autre extrémité de l'échelle, le département des Pyrénées-Orientales, qui a une forte natalité et qui comptait 44 naissances par 1000 habitants de 1801 à 1810, en avait 40 de 1811 à 1820; 38 de 1821 à 1830; 36 de 1831 à 1840; 36,6 de 1841 à 1850; 31,9 de 1851 à 1860; 32 de 1861 à 1869, et 30,9 de 1877 à 1886.

Le phénomène de décroissance s'est donc produit dans les départements qui ont une forte natalité, comme dans ceux qui en ont une faible.

Quoique ces nombres soient des moyennes décennales sous lesquelles s'effacent les variations accidentelles des années de maximum et de minimum, on voit que, pour la même période, la différence, entre le premier et le dernier département, est considérable (34,3 pour le Finistère et 16,9 pour le Lot-et-Garonne, période 1877-1886) et, pour tout le siècle, une différence de 100 à 270, c'est-à-dire que le département des Pyrénées-Orientales a eu sous le premier Empire presque trois fois plus de naissances que n'en a celui de Lot-et-Garonne sous la troisième République. Nous constaterons plus loin que les écarts qui existent aujourd'hui entre les moyennes des États européens sont généralement moindres que ceux qui se sont produits entre les départements français depuis le commencement du XIX[e] siècle (1).

---

(1) M. Turquan a dressé une carte de la natalité en 1886, par communes, pour la France occidentale. On sait que la natalité générale des cinq départements de la Bretagne est supérieure à la moyenne. Mais on s'aperçoit, en regardant cette carte, que la masse de la population n'est très féconde que dans le Finistère et dans une partie du Morbihan, c'est-à-dire dans la région où l'on parle la langue bretonne et surtout dans les îles et presqu'îles; la mortalité est considérable aussi dans les mêmes lieux (d'après une autre carte dressée par M. Turquan). L'arrondissement de Quimper est celui où la natalité et la mortalité ont atteint en France le taux le plus élevé en 1886 (natalité de 40 à 60 par 1000 habitants suivant les communes; mortalité de 40 à 60 aussi; mais il convient d'observer qu'il

Premières conclusions sur la natalité française. — Résumons les principales conclusions de cette première étude sur les naissances :

1° L'état économique du pays et quelquefois même les événements politiques influent sur le nombre des naissances annuelles. La natalité porte l'empreinte de l'histoire; mais d'ordinaire l'effet des fléaux, disettes, guerres, épidémies, crises commerciales, qui la dépriment s'accuse tout à coup et d'une manière plus sensible que l'effet de la prospérité qui tend à la développer.

2° La France a, comme toutes les nations, une moyenne de natalité qui lui est propre. Cette moyenne paraît dépendre plus encore de l'état des mœurs que de l'état économique : cette moyenne est, depuis 1872, d'environ 25 naissances par 1000 habitants.

3° Quand, par une cause accidentelle, le nombre des naissances d'une année s'est écarté sensiblement de la moyenne, celui des années suivantes tend, en vertu de la loi de compensation, à la dépasser dans le sens inverse. Ces oscillations, qui rétablissent jusqu'à une certain point l'équilibre rompu, durent parfois plusieurs années.

4° La natalité française est en voie de décroissance. D'après les statistiques officielles, elle a diminué rapidement dans la première moitié du XIXe siècle, ayant passé de 32,2 par 1000 habitants (moyenne de 1801 à 1810) à 27,4 (moyenne de 1841 à 1850) : diminution de 4,8 naissances pour 1000 habitants dans un espace moyen de quarante ans. Elle a diminué, mais moins rapidement dans la seconde moitié, ayant passé de 26,3 (moyenne de 1851 à 1860), à 24 (moyenne de 1881 à 1888), diminution de 2,3 dans un espace moyen de trente ans.

---

y a eu cette année-là une épidémie de petite vérole). Dans les autres départements, beaucoup de communes sont au-dessous de la moyenne et il n'y a qu'un certain nombre de petits groupes régionaux où les naissances soient très nombreuses. De l'analyse de la natalité, par commune, comme de l'analyse de la densité, il résulte qu'à mesure qu'on examine plus en détail les phénomènes, on les voit en quelque sorte se condenser sur certains points. On comprend, par cet exemple, combien il est peu prudent d'appliquer à une localité particulière les conclusions tirées des moyennes générales de la région, et réciproquement.

Mais, comme il y avait probablement plus d'omissions dans les premiers recensements que dans les derniers, le taux de natalité calculé d'après ces recensements doit être relativement trop fort au commencement du siècle. Dans ce cas, la natalité française aurait diminué un peu moins qu'elle ne le paraît, mais l'accroissement total de la population de 1801 à 1886 aurait été moindre.

5° Les naissances masculines l'emportent d'environ 5 pour 100 sur les naissances féminines. La différence est plus grande, en général, pour la légimité que pour l'illégitimité, pour la population rurale que pour la population urbaine.

6° Les naissances sont plus nombreuses dans les cinq premiers mois que durant le reste de l'année.

7° La natalité, bien qu'ayant diminué dans tous les départements, présente dans chaque région une certaine constance. Mais elle varie beaucoup d'une région à l'autre: car elle s'élève, pour la même période, du simple dans le département où elle est le moindre au double dans le département où elle le plus forte.



DE L'ASSURANCE

ET

DES COMPAGNIES D'ASSURANCES,

Par M. F. MALAPERT.

Origines du contrat d'assurance.

Le commerce qui se fait de peuple à peuple, autrement dit le commerce extérieur, a de tout temps attiré l'attention, parce qu'il opère sur des masses considérables. Les premiers qui entreprirent ce négoce le faisaient pour eux-mêmes ; ils y risquaient leur vie et leur fortune. Un temps arriva où ils purent se servir d'intermédiaires pour les représenter sur les diverses places ouvertes aux trafiquants. Ces marchés étaient dits *emporia* par les Grecs.

Strabon signale ceux qui étaient connus de son temps; les statisticiens pourraient en faire la nomenclature et donner l'origine avec l'histoire de ces localités. L'*emporium* était le plus souvent près de la mer et servait au commerce maritime ; il était aussi parfois dans l'intérieur des terres où il était fréquenté par les caravanes.

Les affaires les plus importantes se faisaient par mer. Tout y était périlleux et les valeurs engagées y étaient exposées à des risques sans nombre. Nous n'avons point à rappeler ici les vicissitudes auxquelles les navigateurs étaient soumis. L'ode d'Horace, à propos du voyage de Virgile, est un résumé des réflexions que l'on faisait communément sur les périls maritimes. Ainsi, tandis que la représentation permettait au

négociant d'échapper aux dangers qu'il pouvait courir dans des voyages lointains, il avait encore à chercher comment il diminuerait les chances de perte qui pouvaient atteindre sa fortune de mer.

Un des moyens usités dès les premiers temps fut d'emprunter des sommes remboursables seulement en cas de bonne arrivée du chargement des navires. Ce contrat mettait les risques au compte du prêteur ; en échange, l'emprunteur promettait un gros intérêt, payable en même temps et dans les mêmes conditions que le capital. Nous avons, dans un plaidoyer de Démosthènes, le texte d'un acte constatant un prêt de ce genre ; ce serait encore un modèle irréprochable.

Les Romains ont à leur tour pratiqué ce contrat, auquel ils ont donné différents noms. Ils nous l'ont légué et nos commerçants l'ont appelé *prêt à la grosse aventure*, ou simplement *prêt à la grosse*. Cette désignation indique que l'argent ainsi prêté est soumis aux chances qui sont la condition nécessaire du voyage maritime des objets affectés au remboursement de l'emprunt et au paiement de l'intérêt des sommes prêtées.

Mais le contrat de prêt à la grosse n'est pas l'assurance. On entend par assurance un contrat par lequel l'un des contractants, appelé *assureur*, s'engage, moyennant une certaine somme appelée *prime*, à indemniser l'autre contractant, qui est dit l'*assuré*, des pertes qu'il aura à souffrir. Dans le prêt à la grosse, le prêteur donne son argent avant le voyage ; dans l'assurance, l'indemnité ne sera exigible que s'il y a eu une perte. Le prix de l'indemnité ou prime de l'assurance est toujours dû ; dans le contrat à la grosse, le prêteur n'a droit à l'intérêt de son argent que si la chose est arrivée à bon port. On a dit que le prêt à la grosse est une assurance à rebours, parce que la somme prêtée est l'indemnité payée à l'avance pour des pertes éventuelles. L'observation est assez juste.

Le contrat d'assurances dont nous venons de parler est ce que nous appelons l'*assurance à prime*. A côté de ce mode d'opérer, il y a un contrat dans lequel l'assuré est en même temps assureur, parce qu'il s'engage à payer une somme pro-

portionnelle aux pertes que pourront souffrir une ou plusieurs personnes, lesquelles prennent à leur tour le même engagement à son égard. Cette combinaison est ce que l'on appelle l'*assurance mutuelle*.

Les jurisconsultes sont à peu près d'accord pour enseigner que l'antiquité grecque et l'antiquité latine ont ignoré l'assurance mutuelle et l'assurance à prime. M. Pardessus, dont l'érudition était si vaste que ses écrits font justement autorité, n'était pas de cet avis. Il reconnaît bien que les documents nous manquent pour affirmer que l'assurance était pratiquée par les Grecs ; mais il la trouve dans des textes latins, ce sur quoi il semble qu'il a eu absolument raison.

Il serait inconcevable que les Grecs n'eussent pas songé à l'assurance, eux qui connaissaient et pratiquaient l'achat et la vente du résultat incertain d'un événement futur.

Les mythographes nous ont légué la légende de l'achat du coup de filet d'un pêcheur qui, au lieu de poisson, retira un trépied d'or du fond des eaux. — A qui appartenait ce trépied? Était-ce à l'acheteur, était-ce au pêcheur? — La contestation entre eux parut difficile à juger et l'on consulta l'oracle pour décider entre les plaideurs. Apollon répondit que le trépied devait être donné au plus sage. On comptait alors sept philosophes éminents par leur sagesse, on leur offrit successivement d'accepter ce siège, chacun d'eux refusa, et le riche trésor revint au premier à qui on l'avait présenté. Celui-ci le consacra à Apollon. Certes, c'est là une légende, mais elle établit un fait indiscutable, à savoir qu'un événement futur et incertain pouvait être la matière d'un contrat.

Tout en reconnaissant que nous n'avons pas de textes indiquant que l'assurance à prime était connue des Grecs, il nous semble qu'il est puéril de leur contester d'avoir connu l'assurance mutuelle.

En effet, lorsque les délégués de tous les pays grecs pratiquant le commerce maritime se réunirent à Rhodes, pour y rédiger le code des us et coutumes de la mer, auquel ils donnèrent le nom de loi Rhodienne, on y admit que certains dommages seraient supportés en commun.

Était-ce une règle nouvelle? Je ne le crois pas ; mais mon

sentiment n'est point étayé sur des preuves. Seulement, de temps immémorial, le même principe régissait les caravanes, et a dû, bien anciennement, être appliqué aux navires marchant de conserve, ou même en convoi, sous la protection de vaisseaux armés en guerre. Cependant on a signalé de grandes différences entre l'obligation dont nous parlons de contribuer aux pertes communes et le contrat d'assurances mutuelles. Nous ne nions pas les dissemblances, mais nous marquons l'analogie.

Venons au droit romain.

Parmi les conditions que l'on pouvait mettre à une obligation, se rencontre celle-ci : *Si tel navire revient d'Asie.* Cela pouvait-il se rapporter à une assurance ? Je suis bien près de le croire.

Un texte des Pandectes pose la question suivante : Peut-on s'engager valablement à promettre qu'une somme de dix mille sesterces vous arrivera saine et sauve ? Le jurisconsulte qui pose la question la résout par l'affirmative. N'était-ce pas une assurance qui était ainsi formée ?

En l'année 704 de Rome, Cicéron, gouverneur de Cilicie, avait des sommes considérables à envoyer à Rome. Nous avons une lettre officielle par laquelle il fait mention du fait au proquesteur Caninius Salluste. « Je pense, disait-il, recevoir à Laodicée des cautions pour tout l'argent du public. Ils me garantiront et garantiront au peuple que cet argent parviendra sans avoir souffert des risques du transport. — *Laodiceæ me prædes accepturum arbitror omnis pecuniæ publicæ ut et mihi et populo cautum sit, sine vecturæ periculo.* »

On a prétendu que Cicéron avait entendu par là qu'il prendrait à Laodicée des mandats payables à Rome. Cette interprétation n'est pas soutenable. Sans doute, la remise des valeurs d'un endroit sur un autre a été connue dans le monde commercial, depuis les temps les plus reculés ; mais cette remise ne nécessitait pas l'intervention des cautions, *prædes,* dont il est question dans la lettre de Cicéron à Salluste. Il s'agit là d'une assurance ; telle est l'opinion de M. Pardessus, dont, encore une fois, le savoir et la logique font autorité dans toutes les matières sur lesquelles il a écrit.

Les auteurs ont examiné, à propos de l'assurance chez les

Romains, divers autres textes qui ne se rapportent pas au sujet; nous les laisserons, pour nous en tenir à ceux qui précèdent.

Qu'arriva-t-il après que les révolutions de la fin du IVe et du commencement du Ve siècle eurent démembré l'Empire? La guerre fut incessante entre Constantinople et les anciennes Provinces; elle fut continue entre les nouveaux États qui s'étaient formés. La navigation de la Méditerranée, déjà périlleuse à cause des tempêtes et des pirates, devint presque impraticable. Trois cents ans plus tard, le désordre fut augmenté par l'entrée des Mahométans dans les régions méditerranéennes. Ceux qui ne veulent pas que l'assurance remonte plus haut, sont d'accord pour admettre que, dès le Ve siècle, les navigateurs furent dans l'usage de se grouper en convois dans lesquels, par une sorte d'assurance mutuelle, ils mettaient en commun les périls du voyage. Ces convois se formaient sous la protection de l'autorité, parce qu'il importait que les navires, puissantes machines de guerre, ne fussent pas capturés par les ennemis. Il était donc interdit de mettre un bâtiment en mer sans en avoir obtenu permission et, s'il y avait des convois, protégés par des vaisseaux montés par des soldats, nul ne pouvait entreprendre un voyage sans se mettre dans ces convois. Les marins devaient en outre obéir aux ordres des chefs du voyage. Ceux qui s'étaient soumis à ces prescriptions étaient solidaires des pertes qui pouvaient être causées par la mer ou les autres événements maritimes.

Cette organisation, plus soupçonnée que vérifiée pour le Ve siècle, n'est formellement attestée que par des documents du Xe. La plupart des historiens du Droit reconnaissent l'assurance mutuelle dans les traits généraux que nous venons d'indiquer.

On tient communément que l'assurance à prime est née plus récemment dans les ports de la Méditerranée, d'où elle est passée dans la mer du Nord et dans la Baltique. Un chroniqueur de Bruges, qui écrivait au XVe siècle, prétend que l'assurance à prime aurait été pratiquée, dans cette ville, dès l'année 1310. Cette affirmation n'est confirmée par aucun texte, mais elle ne nous choque pas, puisque nous supposons que le genre de contrat est beaucoup plus ancien.

A cette époque du XVe siècle, l'assurance maritime à prime fonctionnait à côté du prêt à la grosse aventure. Aucun document n'atteste que ce genre d'opération ait alors été étendu à d'autres objets qu'à ceux qui étaient exposés à des voyages par mer.

Au XVIe siècle, l'assurance était si bien passée dans les mœurs qu'on la retrouve mentionnée dans les lois. Le roi Henri II avait, en 1549, établi à Toulouse un tribunal pour juger les affaires commerciales, puis il sembla vouloir continuer son œuvre en la généralisant. C'est ainsi qu'il créa à Rouen, en 1556, un tribunal semblable à celui de Toulouse. Les assurances furent mentionnées comme matière soumise à la compétence de ce tribunal ([1]). Elles lui furent enlevées en 1584 et confiées à l'amirauté.

Un écrivain, dont on a longtemps ignoré le nom et qui paraît à un moderne ([2]) devoir s'être appelé Antoine Massias, rédigea pour le tribunal de Rouen un Ouvrage intitulé : *Le Guidon des marchands qui mettent à la mer*. Ce livre a évidemment été fait entre 1556 et 1584. Il a eu plusieurs éditions ; la première de celles qui sont connues est de 1607 ; il y en a eu depuis.

Le *Guidon* a servi de modèle pour la matière des assurances, au rédacteur de l'ordonnance de la marine du mois d'août 1681.

Antoine Massias, si tel est le nom de l'auteur de notre livre, était versé dans l'étude du droit maritime international. Cependant il veut que l'assurance soit restreinte *aux choses* exposées au péril de la mer; il ne la permet pas sur la vie des hommes, quoiqu'elle fût autorisée pour cela dans d'autres pays, dans les quels les héritiers des assurés pouvaient obtenir une somme fixe, une rente ou pension, suivant une convention arrêtée entre l'assuré et l'assureur. Le contrat pouvait même être fait au profit d'un créancier de l'assuré, pour la garantie de sa créance.

Autre sorte d'assurance est faite par les autres nations de la vie des

---

([1]) Une disposition analogue se trouve dans l'ordonnance de 1563 établissant un tribunal consulaire à Paris.

([2]) M. Ch. de Beaurepaire.

hommes, en cas qu'ils décédassent estant sur leur voyage, de payer telle somme à leurs héritiers ou créanciers. Même les créanciers pourront faire assurer leurs debtes, si leur débiteur passait de pays en autre; de mesme feraient ceux qui auraient rentes ou pensions en cas qu'ils décédassent de continuer par telles années à leurs héritiers telles pensions ou rente qui leur estait deue, qui sont toutes pactions réprouvées contre les bonnes mœurs et coutumes dont il arrivait une infinité d'abus et tromperies, pour lesquelles ils ont été contraints abolir et défendre les dits usages, qui sera aussi prohibé et défendu en ce pays.

Cette prohibition faite au nom de la morale publique et parce que la vie des hommes est inappréciable, était de pratique constante chez nous.

En effet, l'ordonnance de 1681 répéta la défense d'assurer la vie des hommes, sans doute parce que l'on défendait tout pacte sur une succession non échue; l'argument tiré de ce que la vie est inappréciable en argent n'aurait pas suffi. Cet argument aurait trouvé son application à propos des assurances faites pour le cas où le navigateur était fait prisonnier par l'ennemi et avait besoin d'être racheté, car la liberté est inappréciable comme la vie. Cependant on pouvait s'assurer contre la captivité et stipuler que le captif aurait droit à recevoir une somme égale au prix de sa rançon.

Une autre idée dominait la matière au sujet des choses assurées, c'est qu'elles ne pouvaient l'être pour leur valeur entière. On pensait que l'assuré devait avoir un intérêt à la conservation de la chose, de même les matelots et marins devaient être intéressés au salut du navire par la crainte de perdre leurs gages qu'ils ne pouvaient faire assurer.

Les assurances terrestres, telles que nous les pratiquons, n'étaient pas encore connues. Cependant on avait, si nous en croyons le Dictionnaire de Savary, l'usage d'assurer les marchandises qui voyageaient par terre. Ces assurances avaient pour but d'indemniser surtout les propriétaires de la perte provenant des déprédations des ennemis ou des saisies opérées en douane, lorsque ces marchandises traversaient la frontière pour aller en fraude dans des lieux où elles étaient tarifées ou prohibées. Savary a négligé de remonter à l'origine de cette pratique.

L'ORDONNANCE DE LA MARINE DU MOIS D'AOUT 1681.

Colbert avait donné, en 1673, une ordonnance sur les matières du commerce; il en fit rédiger, en 1681, une autre sur la marine. Le Livre III de cette ordonnance est spécial pour les contrats maritimes; le Titre 6 de ce troisième Livre est consacré aux assurances. Les dispositions de l'ordonnance de 1681 ont été presque copiées par les rédacteurs du Code de commerce; il est indispensable de les étudier quand on veut se pénétrer de l'esprit qui a animé le législateur de 1807. Il y a deux Ouvrages principaux sur notre matière, tous les deux sont de la fin du XVIIIe siècle. L'un est un *Traité des Assurances*, par Emérigon, l'autre est un commentaire écrit par Valin sur l'ordonnance. Ces deux Ouvrages sont classiques.

Le Titre des assurances a 74 articles que nous n'entendons pas analyser dans ce travail. Le roi Louis XIV permettait à tous ses sujets et même aux étrangers d'assurer ou de faire assurer. C'était convier les nobles à pratiquer le commerce des assurances; on ne dérogeait pas en s'y livrant. C'était une règle pour le commerce maritime, et ce qui était dit de l'assurance n'était pas une exception.

Nous retiendrons de l'ordonnance encore que l'on ne pouvait assurer la vie des hommes et que certains risques devaient rester à la charge des armateurs. Ainsi ce qui restait au compte de l'assuré, c'était le dixième de la valeur des choses assurées, s'il n'y avait convention contraire. Ce dixième ne pouvait jamais être à la charge des assureurs quand les propriétaires ou le propriétaire étaient sur le navire.

De même on ne pouvait assurer le fret à faire des bâtiments, pas plus que le bénéfice assuré des marchandises.

Et les gens de mer ne pouvaient pas faire assurer leurs loyers.

L'emprunteur à la grosse n'avait pas le droit de faire assurer la somme empruntée; le prêteur avait la faculté de faire assurer le capital prêté, mais non l'intérêt nautique.

Nous remarquerons que l'ordonnance n'a jamais supposé

que l'assurance devait être faite par une compagnie. Elle ne mentionne que l'assureur et l'assuré.

DE LA CHAMBRE DES ASSURANCES.

Le commerce en général était, dans l'ancien régime, soumis à des réglementations qui s'étendaient à tous les genres de négoce ou d'industrie. Les assureurs avaient échappé à cette organisation, du moins à Paris. Ils avaient pourtant l'habitude de s'y réunir en *assemblée d'assurances,* sans avoir aucun privilège ou droit privatif.

Un arrêt du Conseil du roi, daté du 5 juin 1668, accorda permission aux marchands, négociants, assureurs et assurés et autres personnes de la qualité requise de la ville de Paris, qui depuis quelque temps avaient commencé à s'assembler pour le fait des assurances et grosses aventures, de continuer leurs assemblées et même d'établir un bureau qui porterait le nom de Chambre des assurances. Au-dessus de la porte de ce bureau on devait mettre une inscription ainsi conçue :

Chambre des assurances et grosses aventures établie par le roi.

Cet arrêt fut enregistré le 16 juin suivant au greffe de la police. La Chambre des assurances fit, en 1671, dans une assemblée du 4 décembre, un règlement qui fut homologué par arrêt du Conseil du 10 du même mois, enregistré à la police le 16.

Le but de ceux qui créaient la Chambre des assurances à Paris était d'accaparer ce commerce, même à l'encontre des droits des villes maritimes. Cependant on laissa à certaines de ces places, dénommées en l'article 27 du règlement, la liberté dont elles avaient précédemment joui.

Ce premier règlement a été agréé et son exécution a été définitivement ordonnée par un édit du 6 juin 1686.

Il ne suffit pas de vouloir pour réussir. Et puis les privilèges n'ont jamais porté bonheur, même à ceux qui les obtiennent. La Chambre des assurances fit de mauvaises affaires et fut liquidée.

Lorsque le souvenir de cet échec se fut évanoui et que l'on eut oublié les causes du désastre, on forma une nouvelle Chambre d'assurances. La souscription pour la formation de cette compagnie fut ouverte en 1749, elle fut close le 25 décembre de la même année. Les statuts de la société furent rédigés par un acte qui porte la double date des 23 janvier-3 février 1750. Le capital était de 12 millions.

La Chambre d'assurances obtint, en 1754, le privilège de faire des assurances contre l'incendie, genre d'opération dont nous rappellerons bientôt l'origine. Cette compagnie, plus heureuse que celle dont elle avait pris le nom, végéta, mais ne perdit pas son capital. Nous verrons bientôt comment le ministre de Calonne trouva moyen de lui susciter des concurrents dont le capital serait placé dans des caisses à la disposition de l'autorité.

LE LLOYD.

A Londres, les assureurs voulurent aussi, au commencement du siècle dernier, avoir un lieu de réunion. Ils choisirent la demeure d'un coiffeur, débitant de bière et de café, chez lequel ils se rendaient pour se renseigner les uns les autres et au besoin pour rédiger leurs contrats. Le coiffeur s'appelait Lloyd. On alla chez Lloyd, au Lloyd, pour s'occuper d'assurances. Le nom de l'homme devint un nom de chose. Il désigna le lieu, la réunion, la Bourse des assurances maritimes. L'homme mort, le nom resta à l'établissement. Aujourd'hui le Lloyd de Londres est une salle immense dans laquelle on affiche le nom de tous les navires, avec les assurances faites ou à faire, demandées ou offertes. De sorte qu'en parcourant les affiches apposées sur les murs, chacun sait du premier coup d'œil ce qu'il peut entreprendre dans ces affaires.

Des registres tenus constamment au courant des événements maritimes, contiennent la nomenclature de tous les bâtiments de mer, dignes de ce nom par leur tonnage. Chacun d'eux y est annoté avec la date de sa mise au chantier, de son lancement à la rivière ou à la mer, de ses voyages, de ses avaries, de ses radoubs, et des chances probables qu'il offre pour

une navigation. Les renseignements du Lloyd sont tenus pour authentiques.

Il y a des Lloyds dans d'autres villes, car le nom a été adopté presque partout en Europe. Le Lloyd de Trieste, celui de Hambourg sont fort estimés.

Des assurances terrestres.

Mais, pour en revenir au contrat d'assurances, nous avons à dire comment on songea à l'appliquer autrement qu'aux affaires maritimes et aux voyages par terre des marchandises destinées à l'exportation.

En 1666, un événement terrible jeta la consternation dans le monde civilisé. Le feu détruisit à Londres treize mille deux cents maisons, dont les habitants furent réduits à la plus affreuse misère. On se dit que les malheurs auraient été bien moindres si les maisons avaient été assurées. C'est pour cette raison qu'en 1684 il se forma à Londres la première compagnie privilégiée d'assurances contre l'incendie, sous le nom de *Société amicale contre le feu.*

L'Angleterre, entrée dans cette voie, ne tarda pas à rompre avec les fausses idées sur l'assurance sur la vie. Un acte du Parlement anglais, de l'année 1706, autorisa une compagnie à faire des assurances sur la vie des hommes. Nous devons remarquer toutefois que les opérations de cette société se rapprochaient beaucoup de celles qui sont dites *tontines,* sur lesquelles nous aurons à donner quelques éclaircissements. La seule différence entre les tontines françaises et l'assurance sur la vie d'Angleterre, était qu'en France le capital versé était remis au gouvernement, tandis qu'en Angleterre il devenait la propriété d'une compagnie.

DES TONTINES.

Il y avait vers 1650, à Paris, un Italien du nom de Tonti, qui était très connu dans le monde des finances. A l'époque

dont nous parlons, alors que l'on sortait des guerres civiles de la Fronde, qui avaient été terminées par des transactions pécuniaires bien plus que par les armes, le gouvernement, fort à court d'argent, cherchait partout les moyens de s'en procurer. En 1653, Tonti proposa au cardinal Mazarin d'établir une sorte de loterie dans laquelle un certain nombre de personnes placeraient une somme de, dont elles recevraient un assez gros intérêt, mais dont le capital ne serait jamais remboursé. Sous ce premier rapport, l'affaire était une entreprise de rentes viagères, contrat fort connu et qui était pratiqué sur une large échelle dans un pays où le prêt à intérêt était condamné. Mais ce n'était pas tout. L'intérêt dû à chaque prêteur devait continuer à être payé après sa mort; il accroissait la part des autres. Ce projet ne fut pas bien compris; l'entreprise échoua. En 1656, une nouvelle tentative fut faite et eut un meilleur succès, sans donner cependant tout ce que l'on en avait attendu, car la confiance était lente à venir.

En 1689, une nouvelle tontine fut établie. Tout adhérent devait souscrire un billet de 300 livres; l'intérêt devait être payé au denier 14, soit à un peu plus de 7 pour 100. La rente due à ceux qui mourraient devait accroître celles des survivants. Pour amener les souscriptions, on avait fait quatorze classes de personnes, organisées de telle façon, que l'on pouvait compter dans une, deux ou trois classes, en prenant un billet de 300 livres dans chacune. Une dame Barbier, qui était inscrite dans les treizième et quatorzième classes, touchait au jour de sa mort, arrivée à l'âge de quatre-vingt-seize ans, une rente de 73500 livres. Une nouvelle tontine, créée par le gouvernement en 1759, a été abolie en 1770; depuis lors les ministres des finances n'en ont plus fondé.

DES ASSURANCES SUR LA VIE.

La compagnie d'assurances sur la vie créée en Angleterre ressemblait aux tontines en ce qu'elle associait entre eux les adhérents, qui étaient aussi divisés par classes et devaient se

partager les intérêts promis lors du contrat. Il fallait avoir onze ans pour être admis; après quarante-quatre ans, on n'était plus reçu à souscrire.

Les critiques continuaient. Elles étaient toujours basées sur l'immoralité qu'il y avait à encourager les souscripteurs à prendre des chances aléatoires dans lesquelles chacun d'eux avait un intérêt à la mort des autres. C'était un thème inépuisable pour les déclamateurs. On répondait avec raison que le danger tiré de cet intérêt que les souscripteurs avaient à se tuer les uns les autres pour hériter, était la conséquence du droit de succession; que la honte déversée sur le prêt à intérêt était peu appréciable dans un pays où l'on ne se faisait pas faute de faire des prêts maritimes à la grosse aventure, de placer son argent en rentes et particulièrement en rentes viagères.

Entre temps, la compagnie de 1706 était en prospérité croissante; elle était surchargée de capitaux dont elle n'avait pas l'emploi.

C'est alors que naquit la véritable assurance sur la vie, par laquelle une personne achète moyennant une prime soit unique, soit annuelle, une somme fixe, qui sera payée au jour de son décès. Le mécanisme de l'opération était très simple. L'indemnité devait être payée à qui y aurait droit par la volonté de l'assuré ou par la détermination de la loi. L'assureur ne devait pas s'en inquiéter. Pourvu qu'on lui rendît son engagement acquitté, il n'avait point à savoir si le porteur était un créancier, un héritier légitime ou un donataire plus ou moins avouable. La police qui contenait l'engagement de payer, seul titre de la créance, revenait quittancée à l'assureur, qui n'avait rien de plus à demander. Et pour faciliter les vœux de l'assuré, on faisait cette police à son nom, à son ordre ou tout simplement au porteur.

Des compagnies d'assurances sur la vie du genre de celles que nous venons d'indiquer furent créées en Angleterre dans l'année 1720. Depuis cette époque leur nombre s'est considérablement accru. Le chiffre des assurés s'augmente aussi de jour en jour. Les sommes reçues par les compagnies sont d'une importance énorme; celles qu'elles ont payées aux

assurés dépassaient un milliard, il y a déjà 50 ans; leurs engagements envers leurs assurés doivent aujourd'hui dépasser quatre milliards.

Les exemples que donnait l'Angleterre étaient un enseignement qui fut compris en France; nous avons déjà rappelé que la Chambre d'assurances avait obtenu dès 1754 le privilège de faire des assurances contre l'incendie. Elle eut d'abord seule l'avantage de faire ces opérations; mais, en 1786, deux nouvelles compagnies obtinrent à leur tour le privilège d'en faire de pareilles. La première de ces nouvelles compagnies fut autorisée au mois d'août, la seconde au mois de novembre. Le véritable motif pour le gouvernement de donner de nouveaux privilèges, était que le ministre de Calonne entendait faire verser dans les caisses de l'État les capitaux des compagnies qu'il créait et aussi les capitaux qu'elles obtiendraient des assurés.

En ce temps où l'on remettait en pratique la théorie de Law sur le moyen de faire de l'argent avec du papier, on reconstituait les compagnies des Indes et l'on cherchait tous les moyens de faire arriver les épargnes des particuliers jusqu'au trésor public. La forme la plus goûtée des capitalistes était la souscription d'actions de compagnies privilégiées. En conséquence, pour servir d'appât aux spéculateurs, le ministre autorisa en 1787, malgré l'ordonnance de 1681, la formation d'une compagnie d'assurances sur la vie.

Rappelons les termes de l'article 10 du Titre 6 du Livre III de l'ordonnance de la marine du mois d'août 1681; il était ainsi conçu :

Art. 10. — Défendons de faire aucune assurance sur la vie des personnes.

En présence de termes aussi prohibitifs, les lettres patentes du 3 novembre 1787, qui octroyaient à une compagnie le privilège de faire des assurances sur la vie donnèrent ces explications :

Le Roi s'étant fait rendre compte de la nature et des principes des divers établissements fondés en Europe sous le nom d'assurances sur la

vie, a reconnu qu'ils renfermaient des avantages précieux; que, naturalisés en France, ils y seraient d'une grande utilité; qu'un nombre considérable d'individus de tout sexe, de tout âge y trouveraient la facilité de faire assurer, sur leur vie ou des termes de leur vie, des rentes ou des capitaux, soit pour eux-mêmes dans leur vieillesse, soit après eux, en faveur des survivants auxquels ils voudraient laisser des ressources ou des bienfaits; que ces sortes d'assurances, modérées et équitablement arbitrées, affranchiraient de l'usure trop commune la vente de toute espèce de capitaux, de rentes viagères, ou en étendraient la jouissance à des survivants; qu'enfin ces combinaisons variées, liant utilement le présent à l'avenir, ramèneraient ces sentiments d'affection et d'intérêt réciproque qui font le bonheur de la société et en augmentent la force. Ces considérations réunies ont convaincu Sa Majesté de l'utilité d'un établissement d'assurances sur la vie, et l'ont déterminée à ne pas le différer plus longtemps.

La société ne fonctionna pas encore; elle demanda et obtint de nouvelles lettres patentes qui lui furent délivrées le 27 juillet 1788; mais elle dut être supprimée, comme le furent toutes les compagnies privilégiées, lorsqu'on eut proclamé l'égalité des citoyens et la liberté de tous les genres de commerce, comme le porte l'article 7 de la loi du 2 mars 1791.

Puis on décida que toutes les compagnies seraient liquidées et qu'il n'en serait plus formé que par un acte approuvé par le Corps Législatif (L. 24 août 1793). Défense était faite à tous banquiers de faire des compagnies financières.

Les assurances après le 14 juillet 1789.

PREMIÈRE PÉRIODE JUSQU'AU 18 BRUMAIRE.

Les derniers errements de la monarchie avaient été de reconnaître les privilèges de la Chambre d'assurances et de constituer d'autres compagnies privilégiées. Ce système tomba avec l'inauguration d'un système de liberté individuelle et commerciale, qui ouvrait le commerce des assurances à tous ceux qui voudraient l'entreprendre. Mais le changement dans les lois n'est pas toujours immédiatement accepté par les mœurs. C'est ce qui semble s'être produit en notre matière. Il ne faut pas inférer

de là que les spéculations avaient absolument cessé. La Bourse, d'abord ouverte, puis fermée, puis ouverte à nouveau, regorgeait de joueurs sur les fonds publics et sur les parts dans les sociétés. On faisait des marchés réels et surtout fictifs sur le papier-monnaie et les autres fonds de l'État, sur les parts d'entreprises dans les marchés de fournitures pour l'armée. Jamais les transactions en Bourse n'ont été aussi multipliées, comme l'attestent les lois terribles portées contre l'agiotage, armes fort menaçantes, mais sans efficacité.

Peu à peu, l'assurance maritime reprenait sa place. Ce fut d'abord insensiblement. Elle était pratiquée par des personnes isolées qui n'inspiraient pas une grande confiance, car les assureurs étrangers abondaient sur nos places maritimes.

Ainsi, pendant la guerre sauvage que les Anglais faisaient à la France en édictant des prohibitions de tout commerce entre les deux nations, ce que nous leur rendions nécessairement, des assureurs de leur pays prenaient pour eux les risques que couraient nos navires de commerce, et, en cas de prise ou d'autres sinistres, payaient régulièrement les indemnités qu'ils avaient garanties.

L'une des grandes préoccupations du gouvernement révolutionnaire était d'avoir de l'argent pour les services publics. Un banquier appelé Lafarge, qui se croyait novateur, reprit les idées de Tonti. Comme les tontines sont encore associées dans nos lois à l'assurance sur la vie, ce n'est point un hors-d'œuvre que de parler ici des idées de ce financier. Il adressa le 1er novembre 1790, à l'Assemblée nationale, le projet d'une société dont les capitaux devraient être employés d'abord au profit de l'État, puis produire des intérêts avec lesquels on paierait des rentes viagères aux associés. Ces rentes devaient croître pour les survivants des associés. Cette proposition fut chaudement défendue par Mirabeau, mais elle fut rejetée.

Lafarge demanda alors un brevet d'invention et entreprit l'opération pour son compte. Il lui donna son nom et elle a fonctionné longtemps; elle s'appelait la *Caisse Lafarge*. Le brevet d'invention n'a été pour rien dans le succès de l'affaire. D'ailleurs, en septembre 1792, on dut le regarder comme non avenu, puisque le gouvernement déclara qu'il ne serait plus

délivré de brevets pour les matières de finances. Il fut alors permis de faire concurrence à la Caisse Lafarge, et deux autres tontines furent établies. Ces trois institutions financières ont fonctionné avec une certaine régularité. On a prétendu qu'elles avaient éprouvé des embarras, mais c'est le gouvernement qui l'a dit lorsqu'il a voulu s'approprier leur actif. Quoi qu'il en soit, l'empereur Napoléon Ier profita de ces crises plus ou moins réelles pour obtenir du Conseil d'État un avis qui lui conseillait de s'emparer de ces caisses. L'usurpation, d'abord partielle, fut complétée par un décret du 18 novembre 1810. L'autorité étant passée par là, c'en était fait de leur prospérité. Elles ont langui dans les mains des administrateurs officiels, et ont terminé cette année (1889) leur liquidation.

DU 18 BRUMAIRE A LA RESTAURATION.

La constitution de l'an VIII avait donné tous les pouvoirs au Premier Consul. La loi du 24 août 1793 ne fut point un obstacle pour lui; il prit le droit d'autoriser des sociétés anonymes par voie de décret.

Ainsi, il y avait au 18 brumaire des banques en commandite qui émettaient des billets au porteur fort appréciés par le commerce. Les administrateurs de ces sociétés n'ayant pas semblé suffisamment dévoués au nouveau gouvernement, leurs banques furent supprimées et la Banque de France fut établie. Les débuts de cette institution financière ont été pénibles. Elle a eu de grandes difficultés à surmonter; mais elle a eu des subventions, un privilège, le concours des receveurs généraux, celui des agents de change. Grâce à ces facteurs, elle a triomphé des obstacles et est devenue la plus puissante des banques de notre pays et peut-être la plus considérée de celles qui existent dans le monde. Ce résultat, acquis depuis plus d'un demi-siècle, ne prouve rien en faveur des monopoles.

Je ne sais pas s'il y a eu des compagnies d'assurances avant la mise en vigueur de notre Code de commerce. Cette loi considérable a été longuement discutée; elle a été définitivement

votée en 1807; mais elle n'a été obligatoire qu'à partir du 1er janvier 1808. Ce Code consacra le pouvoir du chef du gouvernement de créer des sociétés anonymes. Il était dit, en son article 37 :

La Société anonyme ne peut exister qu'avec l'autorisation du chef de l'État, et avec son approbation pour l'acte qui la constitue; cette approbation doit être donnée dans la forme prescrite par les règlements d'administration publique.

Le second Paragraphe de l'article rendant l'intervention du Conseil d'État nécessaire, puisque c'est sur son avis que sont faits les règlements d'administration publique, enlevait en quelque sorte au chef du pouvoir exécutif l'odieux qui pourrait s'attacher à des refus arbitraires ou à des concessions imméritées.

Un acte ministériel fut fait pour l'exécution de cet article le 21 décembre 1807. Il était ainsi conçu :

Art. 1er. — Les individus qui voudront former une société anonyme seront tenus de se conformer au Code de commerce, et pour obtenir l'autorisation du Gouvernement, ils adresseront au préfet de leur département, et, à Paris, au conseiller d'État, préfet de police, une pétition signée de ceux qui veulent former la société.

Art. 2. — La pétition contiendra la désignation de l'affaire que la société veut entreprendre, le temps de sa durée, le domicile des pétitionnaires, le montant du capital que la société devra posséder, la manière dont ils entendent former ce capital, soit par souscriptions simples ou par actions, les délais dans lesquels ce capital devra être réalisé, le domicile choisi où sera placée l'administration et enfin l'acte ou tous les actes d'association passés entre les intéressés.

Art. 3. — Si les souscripteurs de la pétition ne complètent pas eux seuls la société qui doit être formée; s'ils déclarent avoir l'intention de la compléter lorsque seulement ils auront obtenu l'approbation du gouvernement, ils devront, dans ce cas, composer au moins le quart en somme du capital, et s'obliger de payer leur contingent aussitôt après l'autorisation donnée.

Art. 4. — Les préfets des départements et le préfet de police à Paris feront, sur la pétition à eux adressée, toutes les informations nécessaires pour vérifier les qualités et la moralité, soit des auteurs du projet, soit des pétitionnaires; ils donneront leur avis sur l'utilité de l'af-

faire, sur la probabilité du succès qu'elle pourra obtenir; ils déclareront si l'entreprise ne paraît pas contraire aux mœurs, à la bonne foi du commerce et au bon ordre des affaires en général; ils feront des recherches sur les facultés des pétitionnaires, de manière à s'assurer qu'ils sont en état de réaliser la mise pour laquelle ils entendent s'intéresser. — Les pièces et l'avis du préfet seront adressés au ministre.

Art. 5. — Le ministre, après avoir examiné la proposition, la soumettra au chef du gouvernement en son Conseil d'État, qui statuera sur son admission ou son rejet.

Art. 6. — Il ne pourra être rien changé aux bases et au but de la société anonyme, après l'approbation reçue, sans avoir obtenu, dans les formes prescrites par la présente instruction, une nouvelle autorisation du gouvernement, et ce, à peine de l'interdiction de la société.

Art. 7. — (Dispositions transitoires, et mettant les sociétés anonymes déjà formées à la nécessité d'une autorisation.)

Le Code de commerce était divisé en plusieurs Livres, quoique n'ayant qu'une seule série d'articles. Le Livre II était consacré au droit maritime; le Titre X traitait des assurances. La matière y était complètement traitée. Rien n'était dit sur les assurances terrestres. Mais nous devons noter que l'on n'avait pas renouvelé la prohibition de faire des assurances sur la vie, bien que la plupart des restrictions relatées dans l'ordonnance de 1681 eussent été maintenues. On tira du silence de la loi cette conclusion, que ces assurances n'étaient plus défendues.

D'abord le gouvernement s'inquiéta de la question des tontines, parce qu'il en convoitait les capitaux. Il demanda donc au Conseil d'État de dire si ces compagnies devaient être autorisées, sinon dans le passé, du moins dans l'avenir.

La réponse fut faite pour un avis du 1er avril 1809, ainsi conçu :

Est d'avis : 1° qu'aucune association de la nature des tontines ne peut être établie sans une autorisation spéciale donnée par Sa Majesté, dans la forme des règlements d'administration publique; — 2° qu'à l'égard de toutes les associations de cette nature qui existeraient sans autorisation légale, il n'y a pas un moment à perdre pour suppléer à ce qu'on aurait dû faire dans le principe; — qu'il est par conséquent urgent de leur donner un mode d'administration qui calme toute inquiétude de la part

des actionnaires, soit par le choix des administrateurs faits pour réunir toute leur confiance, soit par la régularité et la publicité des comptes; — qu'en ce qui regarde les difficultés qui pourraient s'élever au sujet de la gestion et comptabilité des administrateurs jusqu'à ce jour, on ne pourrait rien faire de plus avantageux pour les intéressés que d'en soumettre le jugement à des magistrats dont les lumières garantiraient une justice entière à toutes les parties; — que le bienfait d'une pareille mesure ne pourrait être contesté que par ceux qui auraient intérêt à la prolongation des abus, ou par ceux qui, voulant les arrêter, auraient spéculé sur les avantages qu'ils pourraient retirer d'une administration nouvelle dont ils auraient fait partie.

Quelques personnes avaient songé à se réunir, à faire une bourse commune pour faire face aux désastres qui pouvaient survenir par le déchaînement des fléaux, tels que les épizooties, les gelées, les inondations. On donna à ces communautés le nom de sociétés ou compagnies d'assurances mutuelles. Le Conseil d'État consulté sur la possibilité de former ces associations, les approuva et décida par un avis du 15 octobre de la même année 1809 :

2° Que ces sociétés d'assurances mutuelles ne peuvent remplir le but de leur institution qu'autant que les statuts de leur organisation ont pourvu, par des règles prévoyantes, à déterminer d'une manière positive et précise la variété et la mesure des engagements réciproques des associés, et toutes les formes de l'exécution de ces engagements.

3° Que ces engagements et leur exécution pouvant, par leur mesure comme par leur mode, intéresser l'ordre public, les statuts qui les expriment doivent préalablement être soumis à l'approbation du gouvernement et qu'ainsi aucune société d'assurances, tant contre les ravages de la grêle et les épizooties, que contre le danger des incendies ne peut se former que ses règlements n'aient été soumis au ministre de l'intérieur, et, sur son rapport, approuvés par Sa Majesté en Conseil d'État.

. . . .

Le gouvernement approuva ces deux avis du 1er avril et du 15 octobre 1809. Il entendait bien qu'il ne pourrait être formé aucune compagnie d'assurances sans son autorisation, et appliqua les décisions du Conseil d'État à toutes les hypothèses qui se présentaient.

La forme dans laquelle la demande devait être présentée,

puis instruite, était évidemment celle qui avait été imposée à toute société anonyme par la circulaire ministérielle du 2 décembre 1807, qui remettait au caprice du gouvernement le soin de permettre ou de refuser l'autorisation aux postulants qui voulaient créer une société anonyme.

Les assurances après la Restauration.

La Restauration rompant avec les traditions de l'Empire, s'occupa d'affirmer en public qu'elle serait toujours impartiale et ne commettrait pas d'actes arbitraires. Elle déclara donc que désormais les autorisations données à des sociétés anonymes ne seraient plus des actes de faveur et qu'elles ne créeraient aucun privilège. Une circulaire du 22 octobre 1817 contient ces affirmations qui y étaient précisées fort énergiquement.

Comme la loi a pourvu à la sûreté du commerce par les règles de la responsabilité, de la solidarité et de la contrainte, envers ceux qui commercent en leur nom ou dans des sociétés collectives; comme elle a pris des précautions pour que l'admission des commanditaires ne portât pas atteinte aux garanties dues au public, elle a dû en instituer de plus spéciales à l'égard des sociétés où n'existe pas la responsabilité des associés ordinaires. Elle s'est donc réservé de constater qu'une telle société n'est pas un piège tendu à la crédulité; que l'objet de la spéculation est licite et réel; qu'il existe non un vain prospectus sur une idée sans consistance, mais déjà un acte social, un fond d'engagement qui assure l'entreprise; des actionnaires véritables et non simplement des associés fictifs qui ne figureraient, en apparence, que pour provoquer des engagements réels; — que les capitaux annoncés existent effectivement ou que le versement est suffisamment assuré; — qu'ils sont proportionnels à l'entreprise; — que les statuts qui en établissent l'administration offrent aux associés une garantie morale et, en tout cas, des moyens de surveillance et l'exercice des droits qui leur appartiennent sur l'emploi de leurs deniers.

L'acte de l'autorité royale qui renferme autorisation et approbation n'a pour but que de certifier au public que cette vérification a été régulièrement faite....

Le gouvernement ne devait donc rien concéder, mais inter-

venir seulement, pour savoir s'il devait permettre, à raison de la nature de la société, un fonctionnement auquel, pour tout autre genre de commerce, une société ordinaire ou en commandite, ou même un simple négociant pourrait se livrer sans autorisation.

Les précautions légales une fois accomplies, c'est au public à mesurer sa confiance en des établissements dont le but, les moyens et les règles fondamentales ont été appréciés et portés à la connaissance du public....

Il résulte de ces principes : 1° que l'autorisation de Sa Majesté n'est point un privilège; qu'elle se donne à cause de la société anonyme, et non à raison de la branche d'industrie qu'on se propose d'exploiter; 2° qu'en vertu de la liberté commune, plusieurs sociétés anonymes pourraient être concurremment autorisées pour un même commerce; 3° que le but de l'autorisation est purement et simplement de certifier au public, d'abord, la vérification des bases sociales et l'existence des moyens annoncés, moyens reconnus être en rapport avec l'entreprise; en second lieu, qu'un examen attentif a été fait de la moralité et de la convenance de l'administration sociale.

Suivaient alors les indications de l'administration pour les formes à suivre pour obtenir l'autorisation du gouvernement; la circulaire de 1807 était ainsi remplacée et tombait dans le domaine des faits historiques.

Les demandes d'autorisation commençaient à se présenter et, malgré la circulaire du 22 octobre 1817, on se montrait assez embarrassé pour savoir quand elles devaient être accueillies. Beaucoup de questions furent adressées à ce propos au ministre de l'intérieur, seul compétent, alors que l'on n'avait pas de ministre du commerce. Une circulaire du 11 juillet 1818 fit connaître l'opinion du ministre sur les points qui lui avaient été soumis. Cette circulaire se compose de deux parties. La première est relative aux sociétés anonymes en général; la seconde est toute consacrée aux assurances. Voici cette dernière partie :

SOCIÉTÉS D'ASSURANCES EN GÉNÉRAL.

Septième question. — Convient-il de permettre à la même société anonyme d'entreprendre des genres d'assurances différents, ou dont les chances n'ont entre elles rien de commun?

Réponse. — La même société anonyme ne sera point autorisée à assurer des risques différents dont les chances n'ont rien de commun entre elles.

Observations. — Il pourrait résulter de l'autorisation accordée à la même compagnie d'assurer des risques différents qu'elle essuierait des pertes, par un genre d'assurances, et obtiendrait par l'autre des bénéfices. Si le capital ne formait qu'une seule masse, en cas de malheur propre à une des branches d'assurances, les parties intéressées dans la spéculation qui tournerait plus favorablement et dont les primes produiraient des avantages aux assureurs auraient à se plaindre de partager la perte résultant d'une spéculation moins prospère, à laquelle ils seraient étrangers, et de n'avoir pas, pour leur garantie, les profits que la société faisait sur eux. Si la même société imaginait de laisser deux capitaux distincts, elle pourrait se croire en droit de se liquider, d'un côté, et de partager, de l'autre, les dividendes, ce qui serait un scandale : il n'est donc ni naturel, ni juste, d'admettre la cumulation pour des genres d'assurances soumis à des chances qui n'ont point d'analogie. Mais rien n'empêche les mêmes capitalistes de former des sociétés différentes pour des risques différents.

SOCIÉTÉS D'ASSURANCES MARITIMES.

Huitième question. — Convient-il de fixer le maximum des assurances maritimes?

Réponse. — Les sociétés dont les spéculations portent sur des événements incertains, telles que les sociétés d'assurances maritimes, doivent exprimer dans leurs statuts le maximum de chaque assurance. Elles doivent le fixer en raison combinée du capital de la société et de la nature et de l'étendue du risque.

Observations. — Il importe à la sûreté du commerce que ces sociétés ne se livrent point à des entreprises disproportionnées avec les capitaux qu'elles engagent. Ce n'est qu'en divisant les chances jusqu'à un certain point, en s'abstenant d'en courir de trop fortes sur une seule affaire, enfin en se mettant dans le cas de balancer les unes par les autres, que les sociétés peuvent se flatter d'arriver à d'heureux résultats.

Neuvième question. — Les sociétés d'assurances maritimes peuvent-elles assurer les risques de guerre?

Réponse. — Il y a lieu d'autoriser ces sociétés à assurer les risques de guerre, même ceux de guerre survenante.

Observations. — Ces assurances sont prévues par le Code de commerce

et généralement usitées. On ne pourrait les interdire aux sociétés anonymes sans porter un notable préjudice au commerce maritime, qui, au premier bruit de guerre, ne pouvant plus diviser son nouveau danger entre ses assureurs ordinaires, serait forcé d'interrompre ses opérations ou de se mettre dans la dépendance des assureurs étrangers. Si les compagnies peuvent être exposées à payer, en cas de guerre, des indemnités supérieures à leur capital, ce danger peut être prévu par la précaution déjà indiquée de fixer le maximum de chaque assurance qu'elles seront autorisées à couvrir.

ASSURANCES SUR LA VIE.

Dixième question. — Y a-t-il lieu d'autoriser les sociétés anonymes à s'engager à payer une somme déterminée, au décès d'un individu, moyennant une prestation annuelle à payer par cet individu?

Réponse. — Cet engagement (en d'autres termes, l'assurance sur la vie) peut être autorisé; mais il ne doit pas être permis d'assurer sur la vie d'autrui, sans son consentement.

Observations. — Ce genre de contrat peut être assimilé aux contrats aléatoires que permet le Code civil; il est même plus digne de protection que le contrat de rente viagère : c'est un sentiment bienveillant et généreux qui porte le souscripteur à s'imposer des sacrifices annuels, pour assurer aux objets de son affection une aisance dont sa mort pourrait les priver. La restriction proposée à l'égard de l'assurance sur la vie d'un tiers s'explique et se justifie d'elle-même. Ce contrat est susceptible de plusieurs combinaisons. Le gouvernement jugera, d'après les principes ci-dessus, les divers modes que les compagnies d'assurances pourront se proposer.

ASSURANCES CONTRE L'INCENDIE.

Onzième question. — Doit-on défendre aux compagnies d'assurances pour les incendies d'assurer le dernier dixième de la valeur?

Réponse. — On ne doit pas exiger cette condition des compagnies qui ne voudraient pas en faire une règle; mais il est désirable et avantageux pour elles de l'adopter dans leurs statuts.

Observations. — Il convient infiniment aux assureurs contre l'incendie que l'assuré reste intéressé à veiller avec plus de soin sur sa propriété. Néanmoins, on n'a pas cru nécessaire de prescrire une disposition trop facile à éluder dans l'évaluation des effets soumis à l'assurance.

Douzième question. — Les effets mobiliers existant dans un édifice assuré contre l'incendie peuvent-ils être assurés séparément et auprès d'un autre assureur?

Réponse. — Il dépend des sociétés qui assurent les maisons de faire, à cet égard, telles réserves qu'elles jugeront convenables dans leurs polices d'assurances.

Observations. — Il résulte de cette faculté que l'autorité n'a pas à intervenir et à poser des principes ou à prononcer des restrictions qui, dans une infinité de cas, pourraient avoir des inconvénients.

Tout semblait désormais parfaitement réglé, lorsque surgit une nouvelle forme de notre contrat.

Des assurances contre les chances du tirage pour le recrutement.

Le service militaire n'était pas obligatoire pour tous; le contingent de l'armée était recruté par un tirage au sort. Tout jeune homme désigné était admis à présenter un remplaçant qui devait être soldat pour lui. Les pères de famille payaient ces remplaçants fort cher; pendant les guerres de l'Empire, des fortunes ont été absorbées par ces rachats qui n'exemptaient pas les remplacés des chances d'un nouvel appel. Sous la Restauration, ceux des pères qui avaient de l'aisance imaginèrent d'abord de s'entendre pour faire une bourse commune dont les fonds étaient partagés entre les jeunes gens désignés pour entrer au service. *Ils mettaient,* disaient-ils, *au chapeau* suivant leur fortune, se groupant afin de donner à chacun le moyen d'adoucir les conséquences du tirage au sort. L'administration fut assez sympathique à ce mode d'assurances mutuelles. Le produit de la bourse commune était ordinairement connu des colonels, qui se faisaient un plaisir de le présenter comme un appât aux soldats libérés, dont la bonne conduite passée était un gage pour l'avenir. Ils obtenaient ainsi des réengagements avantageux pour le service et fructueux pour ceux qui les acceptaient.

Des personnes s'entremirent bientôt pour opérer les rem-

placements. Des sociétés furent créées dans ce but. Elles offraient aux assurés l'avantage de leur prendre moins cher et de leur offrir pour toutes les armes des remplaçants irréprochables, tous à peine sortis de l'armée et porteurs des meilleurs certificats.

Les chefs des corps militaires virent ces sociétés d'un mauvais œil. Elles venaient nuire au développement d'un système dont on s'était bien trouvé dans l'armée. On craignit l'innovation et, pour empêcher ses développements, on répéta que cette assurance était immorale, parce qu'elle portait sur la vie ; dangereuse, parce qu'elle déconsidérait les soldats futurs, qui s'étaient laissé acheter et qu'on appelait des *vendus*. Les assureurs furent appelés du nom de *marchands d'hommes* et furent déconsidérés. Il y avait en effet quelque chose de bizarre dans leur tenue et dans celle de leurs remplaçants. Ces derniers étaient logés et nourris dans des cabarets où ils attendaient l'heure d'être enrégimentés à nouveau. Ils prenaient là des habitudes mauvaises qu'ils devaient nécessairement reporter dans l'armée. En réalité, il y avait beaucoup à reprendre dans la manière dont ce commerce s'exerçait, mais peut-être était-il ainsi à cause des gênes qu'on lui imposait.

Une ordonnance royale du 14 novembre 1821 déclara que toute association formée dans le but de fournir des remplaçants militaires serait nulle, si elle n'était autorisée par le gouvernement. Cependant, des sociétés en nom collectif, plutôt sociétés de fait qu'associations régularisées, continuèrent ce genre d'industrie et on en a vu jusqu'au moment où le service est devenu obligatoire pour tous.

Questions mues avant la loi de 1867.

Les diverses modifications que la législation avait subies n'avaient point été parfaitement comprises. Le célèbre Toullier n'a jamais cessé de considérer que les tontines et les sociétés d'assurances sur la vie étaient prohibées ; il l'a écrit au Tome VI de son *Cours de droit civil* et n'est jamais revenu sur cette opinion. Il considérait les circulaires, les décrets et les ordon-

nances rendus à l'occasion de ces assurances, comme autant d'actes illégaux. La loi de 1836, abolitive de la loterie, donna une nouvelle faveur à cette interprétation de nos codes, car, disait-on, toute assurance sur la vie contient une chance aléatoire qui est comme le tirage au sort. Ce système a été plaidé jusqu'en 1841; il ne paraît pas qu'il ait été depuis présenté devant les tribunaux. Cela vient probablement de ce qu'une ordonnance du 12 juin 1842 a si bien regardé les tontines comme légales, qu'elle a organisé leur surveillance.

Pendant que certains esprits critiquaient les assurances sur la vie et les proclamaient illégales, d'autres soutenaient que toute personne pouvait faire des compagnies d'assurances, des tontines, sans prendre l'autorisation du gouvernement, pourvu qu'elles ne fussent pas des sociétés anonymes. Cette opinion, contraire aux circulaires que nous avons citées et aux avis du Conseil d'État, était condamnée par les Cours d'appel et par la Cour de cassation; nous ne citerons à ce propos qu'un arrêt de rejet du 27 mai 1856, qui déclara que l'autorisation était nécessaire. La question ne pourrait pas renaître; elle est tranchée par l'article 66 de la loi du 24 juillet 1867.

Nous verrons bientôt quelles exigences ont été formulées pour la création des compagnies d'assurances, par cette loi et par un décret des 22 janvier-18 février 1868, que ces compagnies soient à primes ou mutuelles.

Assurances contre les accidents.

Vers 1850, Paris a vu naître une autre forme d'assurances, c'est celle de l'assurance contre les accidents. L'histoire de ce contrat est assez curieuse.

Un homme d'affaires assura les voitures, leurs conducteurs, leurs chevaux, contre les accidents qu'ils occasionneraient, et ceux dont ils auraient à souffrir. Bientôt, cet assureur se dit directeur d'une société qui n'existait pas. Cet homme avait calculé les chances, établi à un chiffre suffisant les primes qu'il se faisait payer; son entreprise a réussi. Elle a été depuis

transformée en société anonyme. Plusieurs sociétés ont été faites sur le plan de la première. Toutes ou presque toutes fonctionnent sans avoir été autorisées. Or, le premier risque assuré est celui où il y a eu mort d'homme. C'est donc ici une assurance sur la vie, qui ne peut exister si elle n'a pas l'autorisation du gouvernement. Mon opinion a soulevé une sorte de clameur parmi les personnes qui s'occupent d'assurances. Mais le texte de l'article 66 de la loi du 24 juillet 1867 est formel, toute assurance sur la vie doit être autorisée.

L'État assureur.

L'État n'avait point encore institué d'assurances au profit des ouvriers. Il y avait bien eu, le 28 juin 1817, une ordonnance sur les ouvriers mineurs, disant quels secours devraient leur être donnés en cas d'accidents et de maladies, établissant en outre des caisses de retraite à leur profit. Les prescriptions de cette ordonnance sont devenues une règle générale pour ces ouvriers, mais elles ne s'étendaient pas à tous les travailleurs. Les idées remuées en 1848 avaient porté sur toutes les combinaisons qui pouvaient améliorer le sort des classes laborieuses. On avait, à cette époque, les caisses d'épargne et les sociétés de secours mutuels, grandes et importantes conceptions, encore trop peu aimées de ceux à qui elles profiteraient. Pendant que l'on cherchait s'il n'y avait pas à faire des choses nouvelles, on introduisit, en 1849, dans les cahiers des charges des travaux de l'État, une clause par laquelle les entrepreneurs s'engageaient à mettre en réserve un centième du prix d'adjudication, pour être employé à payer des indemnités aux ouvriers qui contracteraient des maladies sur les chantiers ou qui y seraient victimes d'accidents. C'était une somme prélevée sur des bénéfices présumés représentant un capital à distribuer, suivant les cas, à des ouvriers, d'après un mode de répartition adopté par l'administration des travaux publics; ce n'était pas une assurance.

Mais le mouvement en faveur des institutions de prévoyance se prolongeait. Une loi du 18 juin 1850 décida qu'il serait créé,

sous la garantie de l'État, une caisse de retraites ou de rentes viagères pour la vieillesse. La rente à servir pouvait être de 600 francs au maximum; mais ce chiffre a été augmenté depuis et la rente peut être maintenant élevée à 1500 francs. Les versements demandés aux rentiers sont calculés de manière à être le moins onéreux qu'il est possible. Les sommes versées peuvent de plus être restituées aux héritiers; pour cela, le déposant doit déclarer, au moment où il fait son premier versement, que telle est sa volonté. La rente viagère est liquidée, au plus tôt, quand le titulaire a atteint l'âge de cinquante ans, au plus tard quand il en a soixante.

Une loi des 11-13 juillet 1868 a créé une caisse d'assurances en cas de décès et une caisse d'assurances en cas d'accidents.

Cette assurance est facultative. La grande masse des travailleurs n'a pas encore compris l'utilité de ces deux caisses.

Législation actuelle.

DE L'ACTION DU GOUVERNEMENT SUR LES COMPAGNIES D'ASSURANCES.

La loi du 24 juillet 1867 sur les sociétés par actions a déclaré que le commerce des assurances serait libre, excepté pour les associations de la nature des tontines et pour les sociétés d'assurances sur la vie. D'après l'article 66 de la loi, ces dernières associations, mutuelles ou à primes, *restent* soumises à l'autorisation ou à la surveillance du gouvernement. Toutes les autres sociétés d'assurances peuvent se former sans autorisation. D'après le même article, un règlement d'administration publique devait déterminer les conditions dans lesquelles les sociétés non soumises à prendre l'autorisation devaient se former.

Ce règlement a été fait : c'est le décret qui porte la double date des 22 janvier-18 février 1868. Il est divisé en deux Titres; le premier statue sur les assurances à primes, le second sur les assurances mutuelles.

Le ministre du commerce, s'inspirant des dispositions de

la loi, qui, dans son article 66, soumet les sociétés du genre des tontines et les assurances sur la vie à prendre l'autorisation du gouvernement et à subir sa surveillance, a saisi la commission des travaux publics du Conseil d'État d'un projet de règlement d'administration publique, organisant cette surveillance (le 13 mars 1877). Ce projet a été rejeté par la commission, le ministre crut devoir céder. Mais, par arrêté du 15 mars 1877, il organisa un contrôle et, par un autre arrêté du 29 février suivant, il créa une commission de cinq membres pour surveiller les compagnies à primes fixes, et, par un second arrêté du même jour, il répartit les compagnies entre les cinq membres de la commission. En un mot, il appliquait à toutes les assurances sur la vie le système de surveillance qui régit les tontines depuis 1842. Les membres de la nouvelle commission demandèrent à vérifier les livres et les autres éléments des comptes des compagnies. Ils éprouvèrent des refus. Les sociétés d'assurances antérieures à la loi de 1867 se pourvurent devant le Conseil d'État. Il a été décidé que les exigences des commissaires ne se trouvant pas dans les statuts des compagnies autorisées, il n'y avait pas lieu d'y faire droit. En même temps, le Conseil d'État ordonna que les états semestriels que ces compagnies sont tenues de remettre au ministre seraient faits sur les modèles que fournirait le gouvernement.

La discussion qui a eu lieu à cette occasion et le rapport du maître des requêtes, commissaire du gouvernement, démontrent que les règles établies pour la surveillance des tontines sont toujours en vigueur. Le texte de l'article 66 de la loi du 24 juillet 1867 dit en effet que les tontines et les compagnies d'assurances *restent* soumises à l'autorisation et à la surveillance, et c'est parce que la loi n'a pas fait d'innovation que le Conseil d'État a déclaré que les commissaires établis précédemment devaient continuer leurs opérations comme par le passé, sauf au gouvernement, pour les compagnies nouvelles, à ordonner, dans l'acte qui les autorisera, telles mesures de surveillance qu'il trouvera convenables. (*Conseil d'État,* arrêt du 14 mai 1880).

Le ministre se l'est tenu pour dit. Il a retiré ses projets et l'on peut dire que les compagnies d'assurances ne sont pas du

tout surveillées. Si leurs agents se trompent et trompent les administrateurs, les erreurs ne sont pas réparables. Ajoutons que, pour ne pas différencier en cela les nouvelles compagnies des anciennes, le ministre a décidé de ne faire surveiller ni les unes ni les autres.

QUESTION COMMUNE A TOUTES LES ASSURANCES.

L'administration a entendu laisser la plus grande liberté pour constituer des compagnies d'assurances autres que celles qui sont dites tontines ou assurances sur la vie. Pour toutes les autres, il n'y a que des prescriptions peu importantes dont nous parlerons bientôt en rappelant le décret du 22 janvier 1868. Ces prescriptions sont de nature différente pourtant, suivant qu'il s'agit de sociétés d'assurances à primes ou de sociétés d'assurances mutuelles. Mais une première question générale se présente, c'est celle de savoir si l'assurance peut être faite par un simple particulier, ou par une société qui ne soit pas une compagnie anonyme par actions. Nous entendons laisser de côté, bien entendu, les assurances dont les compagnies ont besoin d'être autorisées.

Rien dans les lois ne prononce la nullité d'une assurance faite par une personne isolée, par une société en nom collectif, ou par une société en commandite. La pratique constante admet, pour les assurances maritimes, que ce commerce pourra être exercé par tous ceux qui voudront l'entreprendre, quoique l'idée de faire des sociétés pour ces assurances commence à prévaloir. Le Code de commerce, dans ses articles 336, 342, 346, mentionne l'assureur; la seconde Section du Titre X du Livre II est intitulée : *Des obligations de l'assureur et de l'assuré*. Donc l'assurance maritime est parfaitement valable, quoique faite par une personne isolée. C'est ce qui est démontré par le procès que fit un assureur de Bordeaux à ses collègues qui s'étaient coalisés contre lui (arrêt de cassation du 16 mai 1845).

Il faut avouer que nous n'avons pas une pareille pratique à invoquer pour d'autres assurances. Cependant, s'il intervenait

un contrat par lequel une personne prendrait un risque à sa charge, il nous semble qu'on ne pourrait pas prononcer la nullité de cette convention. On peut acheter une espérance, pourquoi ne pourrait-on pas acheter l'indemnité qui couvrirait une perte ?

Cela étant entendu pour une assurance faite par une personne isolée, déciderons-nous que l'assurance sera valable si elle a été faite par une société en nom collectif ou en commandite ? Le passé ne nous éclairera pas beaucoup sur ce que nous devons décider.

Avant 1789, le commerce des assurances contre l'incendie n'avait été fait qu'en vertu de lettres patentes conférant privilège. L'avis du Conseil d'État du 15 octobre 1809, a déclaré à son tour qu'aucune société d'assurances ne pouvait se former qu'après approbation de ses statuts par le gouvernement. Mais cet avis du Conseil d'État a été abrogé, au moins en grande partie, par l'article 66 de la loi de 1867, qui réserve le cas d'autorisation pour l'assurance sur la vie et pour les tontines. Et il n'est pas dit dans cette loi que l'assurance ne sera licite que si elle a été faite par une société régulièrement constituée pour ce genre d'opérations.

Cependant la loi de 1867 a été suivie du décret rendu, après avis du Conseil d'État, le 22 janvier 1868. Le titre de ce décret indiquerait qu'il embrasse toutes les sociétés d'assurances, anonymes ou autres; mais les dispositions contenues en son Titre Ier sont relatives seulement à des sociétés anonymes, d'assurances à primes et aucune disposition n'y prononce la nullité des opérations d'assurances qui seraient faites par d'autres genres de sociétés.

Nous inclinerions donc à dire que les assurances seraient valables quoique faites par des sociétés qui ne se seraient pas conformées aux règlements.

C'est un spectacle assez singulier que celui de toutes ces lois réglementaires sur les sociétés de différents genres et même sur certains établissements commerciaux.

Il est défendu de faire des banques, des sociétés de caisses d'épargne, des sociétés d'assurances sur la vie, soit sans avoir eu des autorisations, soit sans, tout au moins, s'être con-

formé aux prescriptions imposées par des lois ou des décrets. Le gros du public se soumet à l'observation de ces règlements. Les hardis s'en moquent et vont devant eux, sans aucune crainte. C'est que la nullité de ces sociétés n'est prononcée par aucun texte. Leurs fondateurs n'encourent d'ailleurs aucune pénalité. Le parquet n'a donc pas à intervenir tant que les manquements à la loi ne lui sont pas révélés, comme étant la cause ou la conséquence de délits tels qu'une banqueroute ou une escroquerie. Le silence sur les peines encourues pour contravention est ici traditionnel. C'est la suite des mœurs du régime du premier Empire. En ce temps, le préfet de police avait le droit de fermer toutes les maisons de commerce créées ou administrées contrairement aux lois établies. Ce pouvoir avait semblé suffisant pour garantir le public contre les manœuvres frauduleuses des faiseurs de dupes. Mais les pouvoirs du préfet de police ont été amoindris et, en particulier, on ne lui reconnaît plus le droit de fermer un établissement contre lequel il n'y a pas eu de décision judiciaire. Cette situation est très regrettable. D'une part, les honnêtes gens, soucieux de respecter les lois, s'abstiennent de commettre des contraventions; tandis que d'un autre côté on voit s'élever des maisons dites de banque, d'épargne ou autrement, qui échappent à la surveillance de l'autorité et finissent tôt ou tard en police correctionnelle.

DE LA LOI DE 1867 SUR LES SOCIÉTÉS PAR ACTIONS ET DU DÉCRET DU 22 JANVIER 1868.

Les pages qui précèdent ont montré que les idées sur les sociétés avaient eu une grande importance sur notre matière. Nous avons rappelé l'article 66 de la loi du 24 juillet 1867, dont nous allons retranscrire les deux premiers paragraphes :

Les associations de la nature des tontines et les sociétés d'assurances sur la vie, mutuelles ou à primes, restent soumises à l'autorisation et à la surveillance du gouvernement.

Les autres sociétés d'assurances pourront se former sans autorisation. Un règlement d'administration publique déterminera les conditions sous lesquelles elles pourront être constituées.

Nous avons dit et nous répétons que le règlement promis par la loi est le décret des 22 janvier-18 février 1868. Ce document a deux Titres. Le premier est consacré aux assurances à primes; le second aux assurances mutuelles.

DES SOCIÉTÉS D'ASSURANCES A PRIMES.

L'article 1er de ce décret veut que les sociétés anonymes d'assurances à primes restent soumises aux lois relatives à ces sortes de sociétés et, en outre, aux conditions que le décret déterminera.

Il est dit, et il faut bien remarquer, que les sociétés dont il s'agit ne peuvent pas user des dispositions de la loi sur les sociétés à capital variable.

Les sociétés d'assurances à primes qui n'ont pas besoin d'être autorisées doivent donc se conformer aux dispositions des lois sur les sociétés et comme il ne reste, sur les sociétés par actions, que celle du 24 juillet 1867, c'est aux dispositions de cette loi que notre article renvoie. La généralité des termes du second paragraphe de notre article 66 permet de supposer que toutes les sociétés d'assurances doivent être créées dans la forme anonyme, comme le portaient les dispositions arrêtées par les avis du Conseil d'État qui ont été rapportés plus haut.

Les entrepreneurs de sociétés anonymes n'ont presque jamais obéi à la loi de 1867. Les actes dressés par eux, sous signatures privées ou par-devant notaires, sont tous entachés de dispositions qui auraient dû les faire annuler. Ainsi l'article 1er de cette loi exige que la société ne puisse être définitivement constituée qu'après la souscription de la totalité du capital social et le versement par chaque actionnaire du quart au moins des actions par lui souscrites. Cette disposition fondamentale n'est respectée par personne. Tous les actes de société contiennent cette clause que le capital pourra être augmenté, ce qui est absolument contraire au texte comme à l'esprit de la loi. En effet, les nouveaux actionnaires, lors de la souscription d'une augmentation de capital, ne seront pas appelés à apprécier les apports et les avantages vérifiés lors de la constitution de la société. En ce qui concerne les sociétés

d'assurances à primes, il y a de plus la prohibition formelle d'user des dispositions de la loi sur les sociétés à capital variable, donc elles ne peuvent pas valablement augmenter leur capital ; et, cependant, il ne se fait pas un acte de société sans que cette faculté n'y soit donnée. Nous devons signaler encore que cette stipulation figure de même dans les statuts des sociétés autorisées par le Conseil d'État. Ainsi, dans quelques années, avec les arrêts, les actes constitutifs des compagnies soumises à prendre une autorisation, avec la pratique constante et illégale, on dira que la loi de 1867 et le décret de 1868 ont été abrogés en cette partie par un usage constant.

Le capital d'une société d'assurances à primes peut être porté à un aussi gros chiffre que le veulent les fondateurs ; il peut être inférieur à 200 000 francs, mais la société ne sera constituée valablement, quel que soit son capital, qu'après un versement réel et effectif de 50 000 francs.

Autrefois une compagnie ne faisait qu'un genre d'assurances ; il était défendu d'enfreindre cette prohibition. Le décret de 1868 est muet à cet égard ; il nous semble que c'est une dérogation aux anciennes règles. En effet, ce décret a été rendu après avis du Conseil d'État, or cette assemblée maintient constamment, dans les statuts qu'elle approuve, un article par lequel il est défendu de se livrer à plusieurs genres d'assurances ; s'il n'en a pas été parlé dans notre décret, c'est que la règle a cessé d'être obligatoire pour les sociétés qui se forment sans autorisation.

On sait que les actions des sociétés ordinaires peuvent être mises au porteur, après libération de moitié ; il faut que les actions des compagnies d'assurances soient entièrement libérées. Elles pourraient être mises au porteur avant libération complète, si la société avait un fonds de réserve égal à la partie du capital non encore versée, et s'il avait été intégralement réalisé.

Le fonds de réserve est constitué par un prélèvement an nue d'au moins 20 pour 100 sur les bénéfices annuels. Ce prélèvement cesse quand le fonds de réserve égale le cinquième du capital, à moins de stipulation contraire dans l'acte de société, car alors il est facultatif.

Les sociétés d'assurances mutuelles ou à primes, créées sans autorisation du gouvernement ou soumises à prendre cette autorisation, sont tenues de faire emploi de leurs capitaux, sauf pour les sommes jugées nécessaires aux besoins du service. L'article 5 du décret exige que cet emploi ait lieu en immeubles, rentes sur l'État, bons du trésor ou autres valeurs créées ou garanties par l'État, en actions de la Banque de France, en obligations des départements et des communes, du Crédit foncier de France ou des compagnies françaises de chemins de fer qui ont un minimum d'intérêts garanti par l'État. J'ai conseillé à une compagnie de considérer comme étant de ces dernières obligations, des obligations émises par les chemins de fer algériens, avec la garantie du gouvernement.

Dans tout cela et dans les articles suivants, qui parlent des droits des assurés et des énonciations qui doivent se trouver dans les polices, rien n'est prescrit à peine de nullité.

DES SOCIÉTÉS D'ASSURANCES MUTUELLES.

Le Titre II du décret du 22 janvier 1868 est consacré aux assurances mutuelles. Nous avons une observation à faire tout d'abord sur ces associations, à savoir qu'on les nomme improprement des sociétés, puisque, aux termes de l'article 1832 du Code civil, la société est un contrat formé en vue de faire des bénéfices. Mais il est inutile d'insister sur ce point. L'usage est d'appeler sociétés d'assurances mutuelles des associations dans lesquelles les intéressés mettent en commun, ou promettent de mettre en commun, des sommes qui seront employées à indemniser les communistes des pertes qu'ils éprouveront par certains sinistres.

La société d'assurances mutuelles n'a ni actions, ni actionnaires ; les dispositions de la loi du 24 juillet 1867 ne lui sont dès lors pas applicables. Il pourrait y avoir un cas où il en serait autrement, par exemple celui d'une société formée pour créer et gérer une société d'assurances mutuelles. Mais l'énoncé même de cette possibilité montre toute la différence qu'il y a entre les deux sociétés.

Le décret des 22 janvier-18 février 1868 n'a point établi la peine de nullité pour le cas où ses prescriptions seraient méconnues. Cependant il peut arriver que les manquements aient été si considérables que la société soit entachée de nullité et n'existe vraiment pas. Si de telles hypothèses se présentaient, et si un ou plusieurs associés s'en plaignaient, les tribunaux devraient-ils se borner à résilier les engagements des plaideurs en leur accordant les restitutions qu'ils réclameraient? ou devraient-ils prononcer la nullité de la société? A mon avis, il n'y aurait pas lieu de décider par voie générale que cette nullité serait applicable aux parties en dehors du procès. Les associés qui désireraient subir les charges et profiter des avantages sociaux ne seraient pas atteints. Mais il est préférable de se conformer au décret, tous les intérêts y gagneront.

Celui ou ceux qui veulent former une compagnie d'assurances mutuelles doivent commencer par en rédiger les statuts. Ce projet est authentique ou sous signatures privées; il est valable dans les deux manières. S'il est sous signatures privées, il doit être rédigé en double original, quel que soit le nombre des signataires de l'acte.

1° Il indiquera l'objet, la durée, le siège, la dénomination de la société et la circonscription territoriale de ses opérations. 2° Il comprendra le tableau de classification des risques, les tarifs applicables à chacun d'eux, déterminera les formes suivant lesquelles ce tableau et ces tarifs pourront être modifiés. 3° Il fixera le nombre d'adhérents et le *minimum* de valeurs assurées au-dessous desquels la société ne peut être valablement constituée, ainsi que la somme à valoir sur la contribution de la première année, qui devra être versée avant la constitution de la société.

Ordinairement on désigne dans ce projet les personnes qui composeront le premier conseil d'administration; cette désignation n'est point obligatoire. Elle est pourtant de convenance et dans l'intérêt de l'avenir de la société, dont les membres sauront déjà à qui ils auront affaire.

Les statuts étant rédigés, il en est fait un grand nombre d'exemplaires, au pied desquels les adhésions sont reçues. Notons encore ici que les compagnies les plus honorablement

connues se bornent à faire signer les adhérents au pied d'un *extrait* de l'acte de société, ce qui est une grande faute; puisque l'article 10 du décret est formel et veut que les statuts se trouvent en entier sur toute liste destinée à recevoir des adhésions.

Lorsque les adhérents sont en nombre suffisant et que les valeurs assurées ont atteint le *minimum* voulu pour la constitution de la société, les signataires de l'acte primitif ou leurs fondés de pouvoir le constatent par une déclaration devant notaire. A cette déclaration sont annexés : 1° la liste nominative, dûment certifiée, des adhérents (cette liste contient leurs noms, prénoms, qualités et domiciles et le montant des valeurs assurées par chacun d'eux); 2° l'un des doubles de l'acte de société s'il est sous seing privé, ou une expédition s'il est notarié et s'il a été passé devant un notaire autre que celui qui reçoit la déclaration; 3° l'état des versements effectués.

Cela fait, les signataires de l'acte de société convoquent une assemblée générale dans les délais fixés par les statuts, et après les publications ou avis qui y ont été déterminés. L'ordre du jour indique les opérations qui devront avoir lieu. Ce sera : 1° la vérification de la sincérité de la déclaration faite devant notaire sur les préliminaires de la société; 2° la nomination, s'il y a lieu, du premier conseil d'administration et d'un ou plusieurs commissaires chargés de faire un rapport à l'assemblée générale de l'année suivante, sur la situation de la société, sur le bilan et sur les comptes présentés par l'administration.

Lorsque les membres du conseil d'administration et les commissaires présents à l'assemblée ou leurs mandataires ont accepté le mandat qui leur a été offert, la société sera déclarée constituée.

Je répéterai encore qu'aucune violation des règles qui viennent d'être rappelées ne peut donner lieu à une demande en nullité de la société, car la loi est muette et les nullités ne s'inventent pas par voie d'arrêts. D'ailleurs la société et les associés peuvent, tous les cinq ans, rompre leurs engagements; et les associés ont encore le droit, sans qu'aucun temps soit fixé, de se retirer si des modifications sont faites aux sta-

tuts. Ces facilités sont assez grandes pour donner satisfaction à tous les intérêts.

Les charges sont les frais d'administration de la société et les indemnités à payer en cas de sinistres. Les tarifs indiquent, par degrés de risques, le maximum de la contribution annuelle dont chaque sociétaire est passible pour les sinistres; ils indiquent de même la contribution qui sera payée pour frais de gestion. On peut attendre pour réclamer la somme à payer pour les sinistres qu'il y en ait eu; mais ce n'est pas ainsi que l'on opère.

Ordinairement chaque sociétaire est tenu de verser par avance une portion de la contribution sociale; c'est un fonds de garantie, qui pourra être réparti avant le règlement définitif des indemnités.

Toute société d'assurances mutuelles bien administrée a de plus un fonds de réserve destiné à donner le moyen de suppléer à l'insuffisance de la cotisation annuelle pour le règlement des sinistres.

Enfin, dans quelques sociétés, il est fait tout d'abord un fonds commun ou de prévoyance qui pourra être employé de la même manière. Ce troisième fonds est utile parce que si les sinistres absorbent au delà du maximum des annuités dues par chaque associé, il y a lieu de recourir au fonds de réserve qui ne peut être employé pour une année que jusqu'à concurrence de moitié. C'est alors, s'il y a insuffisance, qu'on prend sur le fonds de prévoyance.

L'indemnité payée aux sinistrés ne peut pas être prise sur les annuités à échoir. Dans les trois mois qui suivent l'expiration de chaque année, il est fait un règlement général des sinistres à le charge de l'année, et chaque ayant droit reçoit, s'il y a lieu, le solde de l'indemnité réglée à son profit. En cas d'insuffisance du fonds de garantie et de la part du fonds de réserve déterminé par les statuts, l'indemnité de chaque ayant droit est diminuée au centime le franc.

C'est alors que l'on s'adresse au fonds commun ou de prévoyance, s'il en a été constitué.

Des sociétés d'assurances sur la vie et des tontines.

La formation des compagnies d'assurances sur la vie et la formation des tontines donnent lieu à des préliminaires nécessités par l'obligation de prendre l'autorisation du gouvernement.

Les statuts sont rédigés par acte authentique, ou par acte sous seings privés, en ce dernier cas, en doubles originaux. Les rédacteurs doivent avoir soin d'y insérer les deux clauses suivantes, dont l'oubli causerait de grands embarras : 1° les actionnaires doivent donner pouvoir à l'un d'eux, porteur d'un original ou d'une expédition de l'acte de société, d'en faire le dépôt pour obtenir l'autorisation et de signer toutes pétitions ou demandes; 2° ils doivent lui donner, en outre, pouvoir d'accepter toutes les modifications aux statuts qui seraient imposées par le ministre du commerce ou le Conseil d'État.

Faute d'avoir donné ce mandat, l'actionnaire doit signer lui-même la demande d'autorisation et, s'il y a des modifications apportées aux statuts, le premier acte sera non avenu, un second sera indispensable, avec un nouveau consentement de chacun des souscripteurs qui voudront continuer l'affaire. L'ancien contrat ne comptera plus.

L'acte, s'il est sous seing privé, est déposé chez un notaire, sitôt que les actions ont été souscrites. Le notaire en délivre une expédition.

La pétition ou demande d'autorisation est alors rédigée et signée par tous les actionnaires ou par le porteur de leur pouvoir, lequel pouvoir, comme nous l'avons dit et conseillé, peut résulter des statuts. Cette demande est inscrite sur papier timbré.

Elle énonce que toutes les formalités prescrites par la loi de 1867, pour la souscription des actions et la formation du capital, ont été remplies; que, sur le vu des dernières décisions ministérielles, les actions ont été émises à 1000 francs et que le versement du quart a été effectué. Elle indique l'affaire ou les affaires que la société se réserve d'entreprendre, la dénomination qu'elle prendra, le domicile social, le temps de sa du-

rée ; le montant du capital social, la manière dont il sera versé et l'époque ou les époques de versements ; la manière dont les actions seront transmissibles, nominativement ou par remise au porteur ; enfin le mode d'administration, et les noms des premiers administrateurs, s'il y en a de désignés.

Cette pétition sera remise, à Paris, au préfet de police ; ailleurs, au préfet du département. On y joindra : 1° une expédition de l'acte notarié, s'il y en a eu un, ou une copie authentique de l'acte sous signatures privées contenant les statuts ; et 2° les tarifs des opérations qui seront faites.

Les préfets ouvrent aussitôt une instruction qui porte sur les trois points suivants : 1° L'affaire est-elle contraire aux lois, aux bonnes mœurs, à la bonne foi du commerce et au bon ordre en général ; renferme-t-elle quelque vice qui en rende le succès improbable, et la proposition des pétitionnaires est-elle inconvenante ? 2° Quelles sont les qualités et la moralité des souscripteurs ? 3° Les moyens et ressources des souscripteurs paraissent-ils capables d'assurer le versement du capital ?

Après cette information, le préfet rédige son avis qu'il transmet avec toutes les pièces au ministre du commerce. Jusqu'à l'arrivée de cet avis, le ministre n'a point à s'occuper de la demande qu'il répute inconnue.

Le dossier parvenu au ministère est aussitôt remis au bureau spécial que l'affaire concerne. L'acte de société y est examiné avec le soin le plus scrupuleux.

Il est bien recommandé aux préfets de mettre le ministre à même de reconnaître d'un coup d'œil : 1° si toutes les prescriptions de la loi du 24 juillet 1867 ont été remplies ; 2° si l'objet de la société est licite ; 3° si le capital est suffisant, s'il est recouvrable et quand il sera versé ; 4° si les intérêts et les droits des actionnaires sont suffisamment garantis ; 5° si l'administration de la société offre les garanties morales qui importent aux intéressés et au public.

Ces points vérifiés, la rédaction de l'acte ayant été bien pesée et bien contrôlée, les tarifs étant scrupuleusement examinés, le ministre écrit aux pétitionnaires d'avoir à remettre à la Caisse des consignations le quart du capital dont la loi de 1867 impose le versement et à lui en faire parvenir le récépissé.

Lorsque cette dernière pièce est arrivée au ministère, elle est jointe au dossier, qui est adressé au secrétariat du Conseil d'État. L'affaire est étudiée d'abord par la section administrative, dite des travaux publics, qui nomme un rapporteur pour l'assemblée générale, à laquelle il appartient de statuer.

Lorsque le Conseil d'État a rendu sa décision en assemblée générale, comme nous venons de le dire, le ministre prépare un projet de décret. Ce projet est soumis à la signature du chef de l'État. Quand tout est régularisé, le décret est publié dans le *Bulletin des Lois,* les pétitionnaires sont avisés de leur succès et ils peuvent régulariser la société qui jusque-là n'a été qu'un projet.

Le ministre a une autorité souveraine pour rejeter les pétitions qu'il n'approuve pas. Il n'y a pas de recours contre sa décision. Le Conseil d'État est de même investi d'un pouvoir absolu.

Il n'est guère d'exemples que les affaires d'assurances sur la vie aient été acceptées de suite : ordinairement le ministère et le Conseil d'État réclament des modifications dans quelques détails. C'est pour cela que les fondateurs doivent avoir pouvoir d'accepter ces changements et de les faire opérer sur les statuts.

DES TONTINES.

La procédure administrative que nous venons de rappeler est la même pour les tontines en formation que pour les compagnies d'assurances sur la vie. Les fondateurs peuvent être des actionnaires qui feront un bénéfice; ils peuvent être les souscripteurs qui verseront leur argent pour se faire de gros revenus. En ce dernier cas, la tontine serait une façon d'assurances mutuelles. Nous ne répéterons donc pas ce que nous venons d'exposer. Mais nous parlerons des inspections auxquelles les tontines seront soumises. Les confiscations dont l'empereur s'était fait l'auteur en 1810 n'ont jamais été désapprouvées par les gouvernements postérieurs. L'exemple de cet abus de pouvoir et d'un autre qui eut lieu en 1848 n'a pas empêché la création d'un certain nombre de sociétés de ce genre. Leur surveillance a été réglée par divers

décrets. Elle est exercée, sous l'autorité du ministre du commerce, par une commission spéciale de cinq membres, y compris le président et un maître des requêtes au Conseil d'État. Les membres composant la commission sont nommés par le ministre. Le travail de surveillance est réparti entre eux, ils le font séparément ou collectivement. Mais le même commissaire ne peut être chargé d'un établissement pendant plus d'année.

Les membres de la commission, dans chaque établissement, prennent communication des livres, registres et documents propres à éclairer leur surveillance. Ils constatent, au moins une fois par semaine, la situation des sociétés ouvertes ou fermées, le nombre des admissions, le montant des mises versées, leur emploi en rentes sur l'État, et généralement l'accomplissement des formalités prescrites par les statuts de chaque agence, pour la constitution, l'administration et la liquidation des sociétés et pour la distribution, soit des arrérages, soit des capitaux. Ils prennent connaissance des conditions spéciales de chaque société et s'assurent de l'exactitude et de l'application des tarifs servant de bases à la perception, soit des annuités, soit des frais de gestion. Ils veillent particulièrement à l'exécution des conditions relatives au versement du cautionnement du directeur.

Ils rendent compte de toutes les infractions qu'ils remarquent et peuvent même, à charge d'en rendre compte dans les vingt-quatre heures, suspendre l'exécution de celles des opérations qui leur paraîtraient contraires aux lois, statuts et règlements ou de nature à porter atteinte à l'ordre public ou aux intérêts des associés.

La commission reçoit un duplicata de tous les états qui sont envoyés au ministre par les agences tontinières.

Elle adresse tous les ans au même ministre un rapport détaillé sur les opérations de chaque société, et un rapport général où elle a comparé les résultats obtenus par toutes les sociétés.

Les membres de la commission sont rétribués en partie par le ministère et dans une proportion déterminée par chacune des compagnies; le chiffre de cette contribution ne peut être supérieur au maximum porté dans le décret autorisant chaque société.

Outre cette surveillance, les sociétés et agences tontinières ont été soumises, par un décret du 16 janvier 1854, à la vérification des inspecteur des finances :

Ces fonctionnaires portent leurs investigations sur la gestion et la comptabilité desdits établissements; ils se font représenter les livres, registres et tous autres documents; ils vérifient la régularité des écritures et l'exactitude de la caisse et du portefeuille. Ils rendent compte de leur vérification et adressent leurs avis et propositions au ministre des finances. Ce ministre communique leurs rapports au ministre du commerce.

Des sociétés contre les accidents de personnes.

La première hypothèse visée par les polices des assurances contre les accidents est celle de la mort de l'assuré. Il est impossible de ne pas dire par conséquent qu'il s'agit là d'une assurance sur la vie.

Des auteurs ont cherché si ces sociétés étaient ou n'étaient pas de nature à rentrer dans ce que l'on désigne sous le nom de tontines. D'autres, notamment M. Pont, dans son livre sur les sociétés, n° 1074, ont décidé que les sociétés contre un risque déterminé, notamment les accidents du travail, ne sont pas soumises à une autorisation.

Suivant nous, cette doctrine est erronée. Du moment où l'assurance est faite contre les chances qui peuvent être la suite des accidents et en première ligne contre les chances d'un accident mortel, l'autorisation est nécessaire.

L'objection contre l'application du texte précis de la loi est une de celles que nul administrateur n'a le droit d'invoquer. On dit que les Tables de mortalité, publiées en France et en Angleterre, ont permis aux compagnies d'assurances de rédiger et au Conseil d'État de faire l'appréciation des tarifs proposés; tandis que de pareils documents n'existant pas encore pour les accidents, on devrait rester dans l'incertitude, parce qu'il serait à craindre que l'on n'établisse pas une règle proportionnelle convenable entre la prime et l'indemnité. Cette raison n'a aucune valeur. D'ailleurs le Conseil d'État a, sui-

vant nous, beaucoup trop d'action sur les tarifs, et il ne serait pas mal qu'il en eût moins. Ensuite il pourrait s'en remettre aux compagnies et ne pas se donner tant de peine pour équilibrer les chances de perte et de gain. Mais déjà le travail se fait; la loi de 1868, qui a créé une caisse de retraites pour la vieillesse et une caisse d'assurances contre les accidents, a donné lieu à des calculs qui seront bientôt une base suffisante pour qu'il soit possible d'établir des tarifs.

Par conséquent, nous tiendrons que les compagnies contre les accidents de personnes sont des sociétés à qui l'autorisation du gouvernement est nécessaire. Telle est aussi l'opinion du savant M. Ruben de Couder dans son *Dictionnaire de droit commercial*, au mot *Tontine*.

Le projet de loi sur l'assurance du risque professionnel promet une loi sur la matière. Nous aurons à l'examiner sitôt qu'elle aura été faite. Alors nous la comparerons avec les lois des autres pays sur le même sujet; mais en parler maintenant serait prématuré.

Des sociétés étrangères pour les assurances.

Depuis déjà de longues années les sociétés étrangères d'assurances fonctionnent en France. Lorsque les sociétés anonymes ont eu pris un certain développement dans notre pays et à l'étranger, on s'est demandé si ces corps, création du droit civil, pouvaient agir en dehors du territoire dont le gouvernement leur avait donné l'existence. La question s'est posée d'abord en Belgique. La Cour de cassation de cet État a déclaré que les sociétés anonymes créées en France n'avaient pas d'existence hors de nos frontières. A leur tour, nos tribunaux ont refusé de reconnaître aux sociétés belges le droit d'agir devant les tribunaux français. Ces décisions amenèrent les gouvernements à s'entendre pour permettre aux sociétés de chacun des deux pays à ester en justice. Une loi du 30 mai 1857 fut rendue en conséquence de cette convention. Il y était dit :

Les sociétés anonymes et les autres associations commerciales, industrielles ou financières qui sont soumises à l'autorisation du gouverne-

ment belge et qui l'ont obtenue, peuvent exercer tous leurs droits et ester en justice en France, *en se conformant aux lois de l'empire.*

L'article 2 de la loi permettait au chef de l'État d'appliquer, par un décret rendu en Conseil d'État, le bénéfice de la disposition précédente à tous les autres pays.

Cette loi a été singulièrement modifiée par le décret du 17 mai 1862, portant promulgation d'une convention conclue le 30 avril 1862 entre la France et la Grande-Bretagne. Il fut stipulé que les parties contractantes déclareraient reconnaître mutuellement à toutes les compagnies et autres associations commerciales, industrielles ou financières, constituées et autorisées suivant les lois particulières à l'un des deux pays, la faculté d'exercer tous leurs droits et d'ester en justice devant les tribunaux, soit pour intenter une action, soit pour y défendre dans toute l'étendue des États et possessions de l'autre puissance, sans autre condition que de se conformer aux lois desdits États et possessions.

Ainsi, tandis que les sociétés autorisées par le gouvernement étaient seules visées par la loi de 1857, le décret de 1862 s'étendait à toutes celles qui seraient constituées selon la législation des deux pays. Par suite de la clause ordinaire qui se rencontre dans presque tous les traités, sur les droits qui appartiennent à tous les États de demander le traitement de la nation la plus favorisée, on voit que le décret a donné la règle la plus générale.

Il est résulté de là que beaucoup de compagnies étrangères ont établi en France le siège de leurs opérations. Il n'y a rien à reprendre dans ces agissements, lorsqu'il s'agit de compagnies d'assurances qui ne sont pas soumises à prendre l'autorisation du gouvernement. Nos sociétés ont le libre fonctionnement de leur industrie; par conséquent, si une concurrence peut leur être faite par des compagnies étrangères, que les nôtres se défendent.

Mais il n'en est pas de même pour les compagnies autorisées. Le fonctionnement sur le territoire français des compagnies étrangères leur est très préjudiciable. En effet, tandis que les tarifs approuvés des compagnies françaises sont inva-

riables, les compagnies étrangères haussent ou baissent les prix suivant les besoins du moment.

Le jurisconsulte Merlin avait, dès 1822, fait remarquer la nécessité qu'il y aurait eu de soumettre les sociétés étrangères à l'observation des lois françaises. M. Dalloz aîné avait plus tard fait à son tour des protestations énergiques à leur endroit. Je n'ai point à me joindre à des récriminations violentes, mais je crois que si nos lois ont exigé des garanties des Français qui forment des compagnies d'assurances, ce sont là des lois de police et de sûreté applicables à tous ceux qui sont placés sur le territoire. Je n'ai jamais compris l'exception faite au profit de l'étranger, qui n'étant pas lié par des tarifs, fait une concurrence excessive aux compagnies françaises. Il faut rétablir l'égalité entre les assureurs; le législateur qui crée des charges pour un commerçant donne un privilège à celui qui ne les supporte pas. C'est un mauvais système.

Des modifications apportées en 1885 à notre Code de commerce.

On avait remarqué depuis longtemps que les dispositions restrictives dont le Code de commerce avait hérité en matière d'assurances n'avaient pas été conservées par les nations étrangères. Dans la plupart des pays commerçants, on avait admis non seulement dans la pratique, mais encore dans les lois, que l'assurance pouvait être faite sur la valeur présente ou future des choses assurées, comme aussi sur le fret à faire. La pratique et les lois des mêmes pays admettaient encore l'assurance des loyers des gens de mer.

La loi française n'était point observée dans ses prohibitions. De même qu'autrefois on n'avait pas obéi à la loi qui laissait 10 pour 100 des risques à la charge des intéressés, de même on avait l'habitude d'assurer le profit espéré des marchandises transportées et le fret à faire. Les polices d'assurances spéciales sur ces cas étaient appelées *polices d'honneur,* puisque les tribunaux ne pouvaient être appelés à les valider. Jamais

les assureurs n'avaient donné le scandaleux spectacle du refus de tenir leurs engagements.

Les assureurs ont cru, à un certain moment, que les prohibitions de la loi empêchaient les assurés de venir à eux et portaient les assurances vers les pays où les prohibitions n'existaient pas. En conséquence, ils ont fait une agitation ou ils se sont montrés dans des congrès, dans des réunions, afin d'émouvoir l'opinion publique.

Des arrêts sur la question de savoir qui a le droit d'assurer les choses soumises à des risques, avaient aussi fait comprendre qu'il était utile de dire que tout intéressé avait le droit de faire assurer la chose exposée à un péril.

Ainsi, les grands transporteurs par terre, déchargés de responsabilité quand la chose assurée périssait par un accident de force majeure, n'assuraient plus les marchandises transportées.

La question fut, de même que les précédentes, examinée par les écrivains qui défendaient les intérêts des compagnies. Les réclamations ont enfin abouti à une loi du 12 août 1885, qui a apporté des modifications à notre Code de commerce. Il y a d'abord à noter celle de l'article 334, dont la première disposition est que toute personne intéressée peut faire assurer les choses soumises aux risques de mer. Cette disposition s'appliquera à toutes les assurances, c'est une excellente décision qui, à mon sens, n'est qu'une bonne interprétation des lois en vigueur.

Les assureurs eux-mêmes n'accordent pas d'importance aux autres changements de la loi, qui ont autorisé l'assurance du fret à faire, du bénéfice espéré sur les marchandises et des loyers des gens de mer. Ce sont des points sur lesquels la législation avait peut-être eu tort de statuer par prohibition, mais ce sont des réglementations d'un intérêt très secondaire, et qui ne sont pas de grand intérêt. Les réformateurs ne savent pas assez que le changement dans les lois ne suffit pas à créer la prospérité des citoyens.

Des lois relatives à l'attribution des indemnités dues par suite d'assurances.

Si la loi de 1885 a été bien accueillie, il n'en est pas de même de celles qui ont statué sur l'attribution des indemnités dues par suite d'assurances; il y en a eu deux. La première est la loi sur l'hypothèque maritime du 22 décembre 1874, dont l'article 17 portait que les droits des créanciers s'exerçaient, dans l'ordre des inscriptions, sur le produit des assurances qui auraient été faites par l'emprunteur sur le navire hypothéqué. A peine cet article était-il promulgué qu'il a été attaqué comme contraire à la liberté des transactions et incompatible avec nos mœurs. Les réclamations furent entendues et cela avec raison, parce que les assureurs, qui craignaient de ne jamais payer à qui de droit, refusaient les contrats qui leur étaient proposés. En conséquence, on remit à la fonte la loi sur l'hypothèque maritime et la disposition de notre article 17 sur l'attribution de l'indemnité a été supprimée dans la loi nouvelle du 10 juillet 1885 portant modification de la loi du 22 décembre 1874.

Il aurait paru sage de profiter de cette expérience et de ne plus faire l'attribution de l'indemnité d'assurance. Cependant une loi spéciale du 19 février 1889, promulguée le lendemain, ayant pour but de favoriser le crédit agricole, a attribué les indemnités dues par suite d'assurances, sans qu'il y ait besoin de délégation expresse, aux créanciers privilégiés ou hypothécaires suivant leur rang. C'est, on le voit, retomber dans la faute qui avait été commise en 1874. Mais le législateur de 1889 est allé bien plus loin qu'on ne l'avait fait. Il délègue par le titre de la loi toutes les indemnités dues en cas d'assurances et, dans l'article explicatif, il est dit que cette délégation portera sur les indemnités dues en cas d'assurances contre l'incendie, contre la grêle, contre les mortalités de bestiaux ou *les autres risques*. Cette généralité ne semble pas admettre d'exceptions. L'effet de la loi nouvelle ne tardera pas à se faire sentir. Les assurances diminueront et le contrat d'assurances

finirait par disparaître, si ce texte n'était pas abrogé, ce qui doit avoir lieu dans le plus bref délai.

Impôts sur les assurances.

Toute entreprise commerciale paye sa part contributive dans les dépenses de l'État. Il ne nous appartient pas d'entrer ici dans le détail des charges qui grèvent de ce chef les compagnies d'assurances. Mais nous ferons cette observation que cette dette est la plus légitime de toutes celles qui incombent aux débiteurs. Sans doute, le fardeau atteint à l'heure présente les limites du possible; tel qu'il est, il faut le supporter. Des peines atteignent d'ailleurs les fraudes, les réticences et les simples oublis.

Les compagnies ont contracté des abonnements avec l'enregistrement pour l'impôt du timbre. C'est pour elles une grande facilité.

L'article 22 de la loi du 23 août 1870 a autorisé les agents de l'enregistrement à se faire représenter par les sociétés, compagnies, assureurs, entrepreneurs de transports et tous autres, leurs livres, registres, titres, pièces de recettes et de comptabilité, afin qu'ils s'assurent de l'exécution des lois sur le timbre. Ces agents ont le droit de constater les contraventions.

Nature du contrat d'assurances.

Le contrat d'assurances a été rangé parmi les contrats aléatoires. Il figure à ce titre dans l'article 1964 du Code civil, à côté du contrat de la grosse aventure, à côté du jeu, du pari et de la rente viagère. Ce cortège lui a attiré un mauvais renom, que des gens à courte vue ont aimé à proclamer. Ils ont remarqué que le prêt à la grosse était un moyen de faire produire de gros intérêts à des capitaux; que le jeu et le pari étaient réprouvés par la morale; que la rente viagère était mal vue, parce que le rentier mangeait son fonds avec son revenu, au détriment de ses héritiers, tandis que le débiteur

rêvait sans cesse au bonheur que lui causerait la nouvelle de la mort de son créancier. Toutes ces réflexions et bien d'autres montrent qu'il n'est pas bon d'être habituellement en compagnie suspecte, mais elles ne prouvent rien de plus.

L'assuré qui paie une prime pour la conservation de ses biens veut vivre tranquille. Il dispose d'une petite part de son revenu, afin de n'avoir pas à craindre pour le reste. Il ne gagnera rien à la disparition de sa fortune, il ne perdra rien à cette fâcheuse aventure parce qu'il aura pris ses précautions en conséquence.

Notez que dans tous les cas on applique les règles du Code de commerce, d'après lesquelles les accidents ne donnent lieu qu'à une indemnité et jamais à un bénéfice. L'indemnité sera pleine et entière, depuis la revision du Code faite en 1885 qui permet d'assurer le fret et le profit à faire, mais elle ne dépassera jamais la perte éprouvée et le bénéfice certain. Ainsi l'assuré possède une situation qu'il veut conserver; en conséquence, sans changer sa manière de vivre, sans se soumettre à une privation appréciable, il a diminué son revenu et se trouve à l'abri de toutes les mauvaises chances. Il a voulu sortir des cas imprévus; évidemment, de sa part, le contrat n'est pas aléatoire.

Il semble l'être, au premier abord, du côté de l'assureur qui ne fait pas le commerce des assurances. En effet, il a pris l'engagement, pour une faible somme, d'éviter à l'assuré toute perte qui pourrait survenir. De sorte que, si par mauvaise fortune l'événement prévu se réalisait, l'assureur subirait personnellement la perte qu'il a prise à son compte. Mais l'assureur qui ne fait qu'une seule assurance n'existe plus que pour l'assurance maritime, encore tend-il à disparaître. On est assureur de profession, ou on ne l'est pas du tout. Ne parlons donc pas d'une hypothèse en dehors de la réalité et voyons les choses comme elles sont.

On a compté combien, chaque année, il se perd de navires, combien il brûle d'usines, de maisons, de châteaux, de chaumières; on a compté les décès, par âge, par sexe, par profession. On a établi sur ces calculs des probabilités qui ne laissent pas place à la moindre erreur. Pascal, d'Alembert, Condorcet

ont fait les premiers calculs sur les probabilités, pour montrer que l'on peut annoncer à l'avance les résultats que donneront des faits inconnus, lorsque l'on sait ce qui arrive ordinairement. Les mathématiciens les plus illustres parmi les Anglais, qui ont toujours eu de grands savants en cette matière, ont sanctionné les théories des nôtres. Et alors on a dressé des Tables d'après lesquelles on sait au juste le rapport qui doit exister entre la prime qui sera payée par l'assuré et l'indemnité qui sera due. Tout est compté : la prime, les intérêts de la prime, les intérêts des intérêts, en un mot, toutes les bonifications.

En regard des rendements, on a mis les frais de premier établissement, la dépense pour la gestion, les frais de courtage aux agents, les indemnités et le bénéfice que l'assureur entend recevoir pour son industrie. Lorsque les comptes ont été faits sans exagération, l'on sait à un centime près ce que donneront les opérations bien conduites et ce que l'on aura à payer. Le caractère particulièrement aléatoire attribué à notre contrat disparaît donc du côté de l'assureur de profession, comme il s'est effacé au regard de l'assuré.

Comment les compagnies disposent de leurs recettes.

Les compagnies d'assurances de tout ordre et contre n'importe quel sinistre sont dans l'usage de prélever sur les primes qu'elles encaissent une somme déterminée qui est destinée à payer les indemnités qui seront dues. Cette somme n'est point prise sur des bénéfices, car les primes ne sont pas des profits. Ce prélèvement est ce qui sera appelé les *réserves*, lesquelles ne constituent une charge obligatoire que pour les compagnies autorisées. Mais elles devraient se rencontrer dans toutes les sociétés. Elles représentent les sommes destinées à payer les indemnités probables. Leur montant est fixé en général par un employé auquel on donne le nom d'*actuaire*. Malheureusement pour elles, quelques compagnies d'assurances, encore inexpérimentées, négligent d'avoir un agent de ce genre. Elles se contentent d'obéir au décret du 22 janvier 1868,

qui ordonne de prendre 20 pour 100 sur les bénéfices, jusqu'à ce que le fonds créé par ce prélèvement soit égal au cinquième du capital social. Ces compagnies considèrent tout encaissement comme bénéfice, ce qui est une erreur évidente. Leur système n'est pas contraire à la loi, mais il conduit à de déplorables résultats. Le moindre sinistre détruit les rêves des administrateurs de ces sociétés et compromet l'avenir de la compagnie.

Lorsque la société d'assurances est bien administrée, elle procède comme on le fait dans les compagnies d'assurances sur la vie, où des réserves pour parer aux sinistres sont obligatoires. L'actuaire y réunit les assurés par catégories, et règle la somme à prélever pour le paiement des indemnités. On comprend la difficulté des calculs qui s'appliquent aux catégories à former dans les compagnies d'assurances sur la vie ou d'assurances contre les accidents. Les calculs doivent être faits de telle manière que les réserves suffisent amplement aux pertes afférentes à chaque classe d'assurés. Si les sinistres d'une catégorie dépassent les réserves, les compagnies prudentes s'en prennent à leur capital et ne font point porter le déficit sur d'autres catégories. On voit donc à quoi sert ce capital formé par les actionnaires. Il a pour but de subvenir aux frais de premier établissement et de parer à l'insuffisance des réserves. C'est pour cela qu'il est appelé le *fonds de garantie.*

Après que les réserves ont été prélevées sur les primes, le reste des perceptions est appliqué : 1° aux commissions payées aux agents; c'est un prélèvement qui domine l'encaisse et qui est comme un impôt; 2° aux frais d'administration et aux dépenses qu'elle nécessite; 3° à l'amortissement des frais de premier établissement; 4° aux réserves statutaires, c'est-à-dire imposées par les statuts pour la formation ou l'accroissement du fonds de garantie; 5° à l'intérêt du capital social; 6° aux sommes à distribuer comme bénéfices acquis.

Toute compagnie d'assurances fonctionnant depuis un certain nombre d'années doit posséder son capital de garantie entier, libre de toutes charges et payant lui-même l'intérêt qu'il doit rapporter. De sorte que les frais de premier établis-

sement étant une fois couverts, la société marchera sans jamais éprouver la moindre perte. Le commerce des assurances établi sur ces bases, fait avec prudence, est aussi certain que tout autre. Il y en a peu qui offrent moins de prise au hasard.

Mais les opérations dont nous venons de parler sont un travail intérieur sans effet sur les relations de l'assureur et de l'assuré. Les clients ne sont point informés de la manière dont les écritures sont passées. L'assureur est seul tenu, il n'y a aucun lien de droit entre les assurés. Ces derniers n'ont pas plus à s'occuper des divers calculs relatifs aux opérations sociales, que les acheteurs d'un vêtement dans une maison de confection n'ont à s'immiscer dans les comptes sur lesquels les teneurs de livres établissent les prix de revient.

Les réserves sont obligatoires pour les compagnies autorisées; elles sont facultatives pour les autres. Toute société qui ne sait pas en avoir est mal administrée.

Fonctionnement des compagnies.

La compagnie d'assurances autorisée ou non, mutuelle ou à primes, a un siège social où se réunissent ses administrateurs. La loi du 24 juillet 1867, les statuts de la société disent comment ses administrateurs sont nommés et fonctionnent; les statuts des sociétés mutuelles et des sociétés autorisées ont à leur tour des dispositions auxquelles on doit se conformer.

En général, toutes les compagnies ont donné les pouvoirs les plus étendus au conseil d'administration, sauf le contrôle des assemblées générales. Ces dernières n'interviennent pas dans les opérations ordinaires qui sont remises au conseil chargé de les ordonner et de les faire exécuter.

Dans toutes les sociétés autorisées et presque toutes les autres, à côté du conseil composé de membres toujours révocables par l'assemblée générale et sans indemnité, il y a un agent d'exécution auquel on donne le titre de directeur. Cet agent est aussi un mandataire et il semble que lui aussi doit, comme tout mandataire, être révocable à volonté, sans avoir

droit à se plaindre et à se faire indemniser. Il y a des arrêts en ce sens, d'autres ont statué autrement, mais c'est à tort suivant notre opinion. Ordinairement, tous les actes du directeur sont contresignés par un administrateur délégué à cet effet [1]. Cet administrateur change toutes les semaines ou tous les mois. La précaution prise dans les statuts d'indiquer qu'il faut deux signataires est un de ces points que le public connaît ou doit connaître. Cependant on trouve dans les recueils des arrêts par lesquels il a été décidé que des agents d'un ordre inférieur avaient pu engager la société. Ces décisions ont quelque chose de choquant et de contraire aux règles du mandat autant qu'à l'intérêt public. Il est en effet de l'intérêt public que les assurances se multiplient, et les compagnies seraient très enclines à restreindre leurs agences, si l'on continuait à ne pas comprendre que les représentants des sociétés ont et doivent avoir des pouvoirs restreints.

DES AGENTS A L'EXTÉRIEUR DES COMPAGNIES.

Il y a très peu de compagnies dont le fonctionnement ne s'étende pas hors du siège de la société. Celles qui ne portent pas leurs opérations au delà sont peut-être quelques compagnies d'assurances maritimes ou d'assurances mutuelles. Les autres embrassent un grand nombre de départements. Elles y sont représentées par des agents d'ordres multiples et par des inspecteurs souvent distingués entre eux par des grades qui leur confèrent des attributions plus ou moins étendues. Ce personnel est l'occasion de frais considérables; mais il est nécessaire de le maintenir. Il est rare qu'on aille de soi-même trouver un assureur. Ordinairement, on contracte une assurance parce que l'on est sollicité; les agents, payés sur le nombre et l'importance des affaires, vont à domicile, vont dans les lieux publics et persuadent leurs connaissances de traiter avec eux. Cette manière d'opérer est la même dans toutes les compagnies; elle

---

[1] Il y a des compagnies où le directeur peut être remplacé par un administrateur délégué. Il ne faut pas confondre cet agent avec l'administrateur délégué temporairement pour contresigner les actes de la direction.

coûte très cher, surtout pour les agents supérieurs qui ont une compétence certaine et sont très recherchés. Le chiffre des commissions payées par les assurances sur la vie dépasse annuellement la somme de douze millions; il est supérieur ou tout au moins égal à celui des bénéfices distribués aux actionnaires.

Les cours de justice se sont souvent trompées sur le rôle que les agents d'assurances devaient avoir. Les arrêts ont souvent jugé que ces mandataires avaient un droit qui leur serait propre d'engager la compagnie, ce qui est une erreur capitale. Ils ne sont que des intermédiaires; tous leurs actes doivent être ratifiés.

Sans doute, quand ces représentants ont une importance, reçoivent et paient au nom de la société, celle-ci peut être réputée, non seulement leur avoir donné ce mandat, mais aussi avoir voulu élire domicile en leur demeure pour les actions dérivant des polices. Il ne faut pas aller plus loin; les conséquences directes de ces agissements s'arrêtent là.

Les agents locaux, commissionnés par les compagnies, tiennent beaucoup à conserver leur clientèle. Il y a des usages à cet égard basés sur l'intérêt de ces mandataires à conserver ce qu'ils appellent un *portefeuille*. Car de même qu'une compagnie cède parfois à une autre le droit de suivre les opérations et les assurances en cours, de même les agents sont autorisés à présenter un successeur. Ce sont là des détails qu'il convient d'exposer dans un autre lieu; ils sont importants sans doute, mais ne le sont pas suffisamment pour trouver place dans ce travail où il n'est parlé que des points relatifs à la constitution et à l'administration générale des compagnies.

Du rang de l'assurance dans les contrats et de sa moralité.

Notre contrat a une cause licite; il est intéressé des deux parts, chaque partie y promet une chose en échange de ce qu'elle recevra. A ce titre, il est commutatif. Il est synallagmatique ou bilatéral, puisqu'il y a des obligations réciproques.

Les actes dressés pour le constater n'étant pas soumis à des formes déterminées, ce contrat n'est pas de ceux que l'on dit solennels.

Il est de bonne foi.

Les assureurs sont des commerçants, leur but est d'avoir des bénéfices ; les assurés cherchent à être indemnisés, ils font crédit de ce qui leur sera dû. Cette condition dans laquelle se trouvent les assurés doit les faire réfléchir sur le choix de la compagnie à laquelle ils s'adresseront.

Redisons que ce n'est pas le capital de la société qu'il faut considérer, mais bien la capacité des directeurs, leur moralité, leur probité.

L'assurance ne saurait être une cause de bénéfices pour l'assuré, autrement elle ne serait qu'un pari. Dumoulin disait que l'assurance se distingue du jeu ou pari en ce que dans le jeu ou pari, aucune des parties n'a mis un objet sur lequel puisse intervenir le contrat. Tandis que dans l'assurance, il y a toujours une chose dont la valeur représente l'indemnité. Cette valeur est ce que les assureurs appellent l'*aliment de l'assurance*.

Ces principes sont incontestables quand l'assurance a pour but de réparer le préjudice causé par la perte survenue dans la fortune de l'assuré. Ils semblent être atteints dans les assurances sur la vie, mais ce n'est là qu'une apparence. Cette assurance est aussi morale que celles qui ont pour but de couvrir les pertes arrivées aux biens de l'assuré.

APPLICATION DE NOTRE RÈGLE A L'ASSURANCE SUR LA VIE.

Un lord anglais dont les biens passent à son fils aîné, d'après les lois sur les substitutions, prend tous les ans, sur ses revenus et sur les émoluments de ses fonctions publiques, une somme importante qu'il place à une assurance pour avoir de quoi laisser une position indépendante à ses fils puînés, quand arrivera sa mort. Il ne veut donc pas avoir la représentation d'un dommage causé à ses biens. Ne vous hâtez pas de conclure qu'il a fait un contrat absolument aléatoire. La prime payée par ce père de famille va se joindre, pour la part des réserves, à celles

qui sont versées à la caisse de la société par les assurés de la même catégorie. Ces réserves s'accroissent tous les ans par les primes qui sont payées et les intérêts qu'elles produisent; elles forment, avec les autres primes versées par des personnes du même âge, le capital destiné à les satisfaire. Tous les assurés ont créé cette masse qui sera partagée entre leurs héritiers. Les lois sur les probabilités ont déterminé le montant qu'il fallait payer pour que cette caisse d'épargne fournît à ses engagements. En un mot, il y a eu des épargnes de faites dont le total arrivera à satisfaire aux obligations de la compagnie en temps convenu. Les assurés y auront gagné de n'avoir pas dépensé leur argent en frivolités et de s'éteindre sur leur dernière couche, sans souci de l'avenir réservé à leurs familles désormais privées de leurs chefs et des avantages viagers qu'ils avaient conquis. Le lord anglais dont nous avons parlé a payé les frais de garde, le profit des préposés à la conservation de sa chose, à la fructification de ses avances. Rien n'est plus légitime. Et si nous considérons que cet homme s'est privé d'un argent qu'il pouvait dépenser sans remords, puisqu'il le gagnait, qu'il a agi de la sorte pour assurer l'avenir de ses enfants, tout est à louer dans sa conduite.

Prenez l'autre partie, celle des assureurs. Leur spéculation a été de gérer, moyennant un salaire, les sommes versées à leur caisse, ce qui est très régulier et n'a rien de répréhensible. Ne m'arrêtez pas, en prétendant que l'assurance étant un commerce doit donner des bénéfices variables, ce qui constitue la chance aléatoire. Vous vous tromperiez. Le montant des bénéfices n'est pas calculé sur les chances de mort des assurés; cet élément du calcul n'est relatif qu'à ce qui concerne la détermination du capital réservé. Pour les bénéfices, leur variation dépend du nombre des affaires; il en est des assureurs comme des autres négociants. Leurs succès sont proportionnés au nombre et à l'importance de leurs opérations.

L'exemple du lord anglais est de M. de Courcy, un maître en fait d'assurances. Nous prendrons un cas plus modeste. Nous sommes en face d'un employé laborieux et économe. Il lui naît un enfant, deux enfants, trois si vous le voulez. Ce père placera ses économies sur la tête de chacun de ses enfants,

afin que la capitalisation leur fournisse une somme dont ils pourront disposer : les garçons, le jour où ils voudront s'établir; les filles, quand elles entreront en ménage. Ce mode d'épargner n'a rien qui me choque et je donnerai des éloges aux employés, aux commis, à tous ceux qui, touchant un émolument, mettront ainsi en réserve une part de leur gain.

Et le capital ? Toutes les assurances admettent que l'on peut stipuler qu'il sera restitué aux déposants ou à ceux qui le représenteront. Il n'y a donc pas d'objection sérieuse à combattre de ce côté, au nom de la famille exposée à perdre son avoir.

Le contrat le moins favorable est celui par lequel un assuré verse un capital pour acheter une rente viagère. On dit que celui qui agit de cette manière est un égoïste, qui se préfère à ses héritiers. Il peut n'en être pas ainsi. Il arrive qu'un père place une partie de sa fortune en rente viagère, sur la tête de l'un de ses enfants dont il redoute la prodigalité. Un autre emploi de la rente viagère a une utilité incontestable encore. Il y a en Allemagne des universités qui se chargent de la pension de leurs meilleurs élèves et font ce que l'on appelle le *crédit à l'instruction.* Un homme sans revenus assez élevés pour faire instruire ses enfants, peut donc avoir l'idée de placer ses faibles capitaux en rentes viagères afin d'arriver au moyen de payer les frais d'instruction de sa jeune famille. Il fera lui, père, ce que font les universités allemandes dont nous parlions; qui le blâmera, ou pour mieux dire, qui lui refusera des éloges ?

Les amplifications oratoires sont d'ailleurs hors de saison lorsqu'il s'agit d'un contrat aussi ancien que les lois sur l'intérêt de l'argent? Le contrat de rente viagère n'a jamais été réprouvé; le Code civil le consacre. Les adversaires qu'il a eus l'ont attaqué surtout à cause de la haine que le débiteur est censé garder dans son cœur contre le crédit rentier. Avec une compagnie débitrice impersonnelle, cette haine ne peut pas exister. Là encore les capitaux versés ont donné lieu à la mise en réserve de ce qui devra être payé.

Toutes les opérations se réduisent pour les compagnies au calcul des réserves, à leur mise en commun par genre de risque afin de payer ce qui sera dû, en matière maritime, pour naufrage ou avaries; en affaires terrestres, pour incendies,

épizooties ou autres fléaux; en fait de contrat sur les personnes, en cas d'échéance, de mort ou d'accident.

Les assurés ont ordinairement eu affaire à un seul assureur. Chaque assuré a une action contre lui pour son indemnité. On tire de là cette conclusion que les compagnies sont exposées à payer des sommes énormes pour certains sinistres dont elles ont pris la charge, ce qui peut les entraîner à faire faillite. Ne croyez pas cela. Chaque compagnie est liée avec celles qui exploitent le même genre d'assurances. Elles s'entendent entre elles pour la répartition des risques lorsqu'ils sont trop forts. Aucune ne garde des chances qui pourraient lui être funestes; leurs statuts, à toutes, sont formels à cet égard et déterminent le maximum des sommes assurées; ce maximum est ce que les assureurs appellent *le plein*. Il est rare qu'une compagnie se charge de *son plein*.

Mais ne perdons jamais de vue que toutes ces combinaisons sont étrangères aux assurés. Entre chacun d'eux et la compagnie, il est intervenu un contrat dans lequel ils ont engagé l'assureur; ce qui est fait en dehors de ce contrat ne les regarde pas. Les assureurs n'ont pas de leur côté à s'occuper par avance du point de savoir à qui l'indemnité sera payée. L'usage sur ce dernier point, en admettant les polices à ordre ou au porteur, a donné satisfaction à tous les besoins.

Un ingénieur conçoit la possibilité de faire une grande entreprise. Un bailleur de fonds lui prête l'argent nécessaire pour mener l'affaire à bien. Mais ce bailleur de fonds croit que le succès est lié à la vie de l'ingénieur et que, s'il vient à disparaître, l'argent sera perdu. Tous les deux, prêteur et emprunteur, s'entendent avec une compagnie, qui paiera en cas de mort de l'entrepreneur la somme qui lui aura été fournie.

Ce contrat est assez fréquent. Et c'est probablement à cause de cela que les polices sont souvent à l'ordre de l'assuré ou au profit du porteur.

D'ailleurs, la personne sur la tête de laquelle une assurance est faite doit toujours y intervenir pour lui donner son consentement.

Des lois qui sont demandées sur les assurances.

Nous avons noté les réformes apportées en matière d'assurances au Code de commerce par la loi du 12 août 1885. Beaucoup de théoriciens ne voudraient pas en rester là.

Sitôt qu'une difficulté d'interprétation s'élève pour savoir comment il faut entendre un contrat, à qui les indemnités seront payées, quantités d'écrivains se lèvent comme un seul homme, pour demander une loi qui règle la question.

Je n'ai jamais, pour ma part, approuvé ces réclamations. Nous avons les règles générales du droit. Elles ont jusqu'à présent suffi à toutes les éventualités. Leur application a été parfois difficile, c'est ce qui arrive en toute matière.

Sur quoi porterait la loi à intervenir? Sur la rédaction des polices apparemment et sur leurs effets entre les parties. Ce serait une réglementation très fâcheuse, parce qu'elle rendrait impossibles, ou contestables au moins, les stipulations qui n'auraient pas été prévues. J'ai l'horreur de ces lois réglementaires, elles n'ont qu'un résultat, celui de conduire les hommes à les mépriser, à les flétrir, à s'en faire un jeu. Et alors on ne croit plus à la stabilité des institutions humaines. Justes ou injustes, toutes sont au même rang. L'habitude de mépriser la loi fait qu'on ne respecte plus rien.

On dit que pour la matière des assurances appliquée aux successions une loi serait désirable, on le dit surtout afin d'accorder au père de famille le droit de faire des avantages énormes à certains de ses enfants, tandis qu'il laisserait les autres dans la misère. Depuis les premiers temps où le préteur romain a trouvé juste de mettre une barrière aux caprices du père de famille dans la disposition de ses biens, jusqu'au Code civil, en passant par d'Aguesseau, les législateurs ont admis qu'une partie de la fortune du père devait appartenir à ses enfants, à qui elle arrivait par une dévolution légale. Il y a une secte de communistes à qui ces idées déplaisent. Ils veulent que le père de famille ait la possibilité de ruiner un ou plusieurs de ses enfants, et même tous, si bon lui semble, pour que ses biens profitent à des fondations dites pieuses. Ces hommes

sont plus religieux que n'était d'Aguesseau ; je leur en fais mon compliment, sans avoir assez d'intelligence pour les comprendre. Le droit ancien, le droit nouveau ont trouvé un milieu entre la prohibition de tester que Mirabeau voulait décréter et la liberté absolue de disposer à titre gratuit que l'on réclame. Je suis pour le maintien des règles actuellement établies et je ne conseille pas de les changer. Je le répète, la possibilité de mettre les polices à ordre ou au porteur suffit à toutes les situations.

Quant aux autres mesures réglementaires que demandent certaines personnes, nous avons montré, à propos des lois sur l'attribution de l'indemnité d'assurances, combien la matière est difficile. Ces exemples devraient un peu corriger les réformateurs ou prétendus tels.

Les assurances au point de vue de l'économie politique.

L'assurance est-elle un contrat utile aux intérêts du pays ? Est-ce une œuvre que l'on doive encourager ?

Lorsque l'on étudie la nature et que l'on y recherche la condition qu'elle a donnée à l'homme, on s'aperçoit que nos œuvres sont dirigées en vue de satisfaire nos besoins dans le présent et dans l'avenir. L'esprit humain s'inquiète de ce qui fut, de ce qui est et de ce qui sera. Il a la conscience de sa faiblesse présente, et redoute les événements qui pourront l'augmenter. Sa prévoyance le porte à se faire un capital dont il se servira comme d'un instrument de travail pendant la force de l'âge et dont il usera aux jours de la vieillesse, quand les infirmités le convieront au repos. Et puis, si nous nous interrogeons, nous découvrirons facilement que le plus grand élément de bonheur est d'avoir la sécurité pour nous et les nôtres.

Or, il n'y a pas de contrat qui puisse, pour la quiétude qu'il procure, être comparé à l'assurance. Toutes ses formes sont avantageuses, parce que toutes tendent à donner la sécurité. L'homme qui possède aime la paix et redoute les hasards, surtout si ce qu'il possède est une espérance.

Ne croyez pas cependant que l'assuré s'endorme dans un repos perpétuel et devienne inutile comme le fakir de l'Inde.

Les armateurs, les propriétaires de navires sont tous assurés, ce qui ne les empêche pas de rechercher de nouvelles aventures pour leurs vaisseaux ou leurs marchandises. Ils ne peuvent pas perdre leur avoir, car s'ils n'ont pas enchaîné les vents et les flots, ils en ont du moins conjuré les effets.

Au point de vue de l'intérêt gouvernemental, l'assurance a produit de grands effets en Angleterre. Nous avons vu que les compagnies possèdent des sommes énormes qu'elles doivent nécessairement faire fructifier. Elles les placent en fonds de l'État anglais. Les primes qu'elles perçoivent seraient improductives dans leurs mains, si elles n'en faisaient pas emploi. Alors cet argent est porté à la Bourse où il est converti en rentes. C'est par cet afflux continuel que les cours se soutiennent au grand étonnement des personnes qui ne se rendent pas compte de ce qui se fait dans un pays où souvent l'intérêt des capitaux est de plus de 6 pour 100, tandis que la dette publique ne rapporte pas 3 au porteur.

On reproche aux compagnies d'accumuler les capitaux, de les retirer de la circulation où on les emploierait à des affaires industrielles. Ce reproche serait fondé si les capitaux s'engloutissaient dans des caisses dont ils ne sortiraient plus. On pourrait pourtant dire qu'en ce cas encore, ils seraient mieux placés que s'ils étaient employés en dépenses mauvaises, compromettant à la fois les mœurs et la vie des assurés. Mais nous n'en sommes pas réduits à ce genre d'argumentation. Toute somme versée à une compagnie d'assurances doit être placée et rentrer ainsi dans la circulation. Il faut qu'elle soit productive d'intérêts, et elle ne le serait pas si elle n'était pas employée.

Reste l'effet moral que produit l'assurance en donnant la sécurité. Elle attache les hommes à leur pays et le leur fait aimer. Celui qui ne craint pas le lendemain a les joies du cœur et le repos de l'esprit. Cet homme sera le défenseur héroïque de la patrie ; il sait ce qu'il a et ne sait pas à quelles aventures il serait exposé, s'il lui fallait subir le joug d'un vainqueur. L'assurance est l'épargne la mieux employée ; elle mérite donc d'être haut placée dans l'estime des populations.

TABLE DES MATIÈRES

DU MÉMOIRE DE M. MALAPERT.

PROGRAMME, POUR L'ANNÉE 1889-90,

DES COURS PUBLICS ET GRATUITS DE HAUT ENSEIGNEMENT

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS ([1]).

Géométrie appliquée aux Arts (les lundis et jeudis, à neuf heures). — M. le Colonel A. LAUSSEDAT, professeur.

Cinématique. — Classification des mécanismes. — Étude géométrique des organes qui servent à la transformation des mouvements : Engrenages, cames, excentriques, articulations, échappements, encliquetages. — Compteurs. — Instruments enregistreurs.

Géométrie descriptive (les lundis et jeudis, à sept heures trois quarts). — M. E. ROUCHÉ, professeur.

La ligne droite et le plan. — Les surfaces réglées et les surfaces de révolution. — Les ombres linéaires.

Mécanique appliquée aux Arts (les lundis et jeudis, à sept heures trois quarts). — M. J. HIRSCH, professeur.

La Mécanique à l'Exposition de 1889. — Machines motrices. — Transmission du travail. — Pompes. — Compresseurs. — Appareils de levage, etc.

Constructions civiles (les mercredis et samedis, à sept heures trois quarts). — M. Émile TRÉLAT, professeur.

La Salubrité dans les constructions. — Les cinq facteurs de la salubrité : Air, lumière, chaleur, eau, sol. — Leur introduction ou leur utilisation dans la maison, les lieux de réunion, la ville.

Physique appliquée aux Arts (les mercredis et samedis, à neuf heures). — M. E. BECQUEREL, professeur; M. H. BECQUEREL, professeur suppléant.

([1]) Tous ces cours ont lieu le soir et leur durée réglementaire s'étend du 3 novembre au 30 avril; leur ouverture a dû toutefois, en raison de l'Exposition universelle, être remise cette année à la date du 11 novembre.

Principes fondamentaux de la Physique. — Applications diverses de la chaleur; formation des vapeurs; emploi de leur force élastique; sources de chaleur et de froid; chauffage; ventilation. — Acoustique; production et propagation des sons; téléphone; phonographe. — Sources de lumière; éclairage; analyse spectrale. — Instruments d'optique.

Chimie générale dans ses rapports avec l'Industrie (les mardis et vendredis, à neuf heures). — M. N..., professeur [1].

Chimie industrielle (les lundis et jeudis, à neuf heures). — M. Aimé GIRARD, professeur.

Matières végétales. — Légumes et fruits, leur composition, leur valeur alimentaire. — Procédés de conservation. — Céréales. — Mouture des grains. — Outillage et procédés de la meunerie moderne. — Farines. — Pain et biscuits. — Pâtes alimentaires.

Chimie appliquée aux industries de la Teinture, de la Céramique et de la Verrerie (les lundis et jeudis, à sept heures trois quarts). — M. V. DE LUYNES, professeur.

Des verres. — Éléments, propriétés, fabrication. — Fours. — Soufflage, moulage, coulage. — Verres colorés, émaux. — Décoration, taille, gravure. — Vitraux.

Des poteries. — Matières premières, argiles. — Préparation, façonnage, travail des pâtes céramiques. — Cuisson, décoration des poteries.

Chimie agricole et Analyse chimique (les mercredis et samedis, à neuf heures). — M. Th. SCHLŒSING, professeur.

Engrais, amendements. — Alimentation rationnelle du bétail. — Méthodes gazométriques. — Analyse appliquée aux matières végétales.

Agriculture (les mardis et vendredis, à sept heures trois quarts). — M. E. LECOUTEUX, professeur; M. L. GRANDEAU, professeur suppléant.

L'Agriculture dans ses rapports avec le climat, le sol, les débouchés, la population, les capitaux. — Étude spéciale des baux à ferme, du métayage, du faire-valoir direct. — L'Agriculture à l'Exposition universelle de 1889.

Travaux agricoles et Génie rural (les mercredis et same-

---

[1] La Chaire de Chimie générale du Conservatoire étant vacante depuis la retraite toute récente de M. E. PELIGOT, nommé professeur honoraire, le programme d'enseignement pour 1889-90 ne pourra en être arrêté que lorsque le successeur de ce savant aura été désigné.

dis, à sept heures trois quarts). — M. Ch. DE COMBEROUSSE, professeur.

Introduction : La Ville et la Campagne. — Tableau de la production et de la culture françaises. — Les progrès nécessaires.

Description et Étude spéciale de la Ferme. — Bâtiments ruraux. — Éléments et conditions de leur construction. — Notions sur la résistance des matériaux.

Dépendances de la Ferme : Logements et hygiène générale des animaux. — Écuries, étables, bergeries. — La basse-cour, le poulailler et le colombier. — Le lait et ses transformations. — La laiterie et la fromagerie. — Les associations fruitières.

Filature et Tissage (les lundis et jeudis, à neuf heures). — M. J. IMBS, professeur.

Méthodes et matériel du peignage. — Opérations subséquentes. — Méthodes et matériel du filage. — Retordage et apprêts des fils. — Fils façonnés. — La Classe 34 à l'Exposition de 1889. — Tissus feutres.

Économie politique et Législation industrielle (les mardis et vendredis, à sept heures trois quarts). — M. É. LEVASSEUR, professeur.

Circulation des richesses. — Valeur. — Métaux précieux et monnaie. — Histoire des prix. — Cherté et bon marché. — Crédit et banques. — Influence des moyens de communication. — Commerce, traités de commerce et tarifs douaniers.

Économie industrielle et Statistique (les mardis et vendredis, à neuf heures). — M. A. DE FOVILLE, professeur.

Voies et moyens de transport. — Moteurs et véhicules. — Routes et voitures publiques. — Chemins de fer. — Navigation intérieure. — Navigation maritime. — Postes et télégraphes. — Conséquences économiques et sociales de la transformation des moyens de transport.

Droit commercial (les mercredis et samedis, à sept heures trois quarts). — M. F. MALAPERT, professeur.

Tribunaux de commerce : Organisation, compétence, procédure. — Prud'hommes. — Arbitrages. — Contrats et obligations. — Contrats commerciaux. — Louage d'industrie; travaux publics; concession et exploitation des chemins de fer. — Effets de commerce.

ÉLOGE

DE

MM. J. DIÉTERLE ET ED. FUCHS,

Membres du Conseil de perfectionnement
du Conservatoire des Arts et Métiers,

Par le Colonel A. LAUSSEDAT ([1]).

Mes chers Collègues,

Le Conseil de perfectionnement a perdu, cette année, deux de ses membres les plus distingués, M. Diéterle et M. Fuchs.

Le premier, M. Diéterle, d'un âge avancé et retenu loin de Paris par de cruelles infirmités, n'assistait plus, depuis longtemps, à nos séances, mais tous ceux d'entre nous qui l'ont connu se rappellent ses qualités charmantes, et c'est un devoir pour moi d'affirmer que, même depuis qu'il était obligé de renoncer à venir ici, il n'avait pas cessé d'être dévoué à notre institution dont il aurait voulu voir le rôle s'élargir en s'élevant encore. Artiste du plus grand mérite, décorateur d'une rare habileté, M. Diéterle avait accepté le titre de membre du Conseil de perfectionnement, en prenant cette qualification au pied de la lettre et uniquement dans l'espoir de voir créer ici un cours d'Esthétique industrielle ou plus modestement d'Art appliqué à l'Industrie. C'est ce qu'il me disait dans une lettre qu'il avait bien voulu m'écrire le 19 juin 1882, en réponse à celle que je lui avais adressée, comme à plu-

([1]) Prononcé en séance de ce Conseil, à la date du samedi, 12 octobre 1889.

sieurs autres de nos collègues, pour lui demander de me signaler les lacunes qui pouvaient exister, selon lui, dans l'enseignement supérieur du Conservatoire et dans les collections de son Musée.

Depuis la création du *South Kensington Museum*, la même opinion était partagée par beaucoup de membres du Conseil et notamment par son Président, M. le général Morin, qui, dès 1854, avait appelé l'attention du Gouvernement sur la nécessité qui s'imposait de ne pas laisser prendre trop d'avance à nos voisins d'outre-Manche dans une direction où nous avions toujours jusqu'alors tenu la tête.

Ce n'était pas la première fois d'ailleurs que je voyais M. Diéterle insister sur ce sujet et se plaindre d'une indifférence qu'il qualifiait de déplorable.

Dans une conversation antérieure, la dernière que j'ai eu le plaisir d'avoir avec cet homme éminent, il m'avait, en effet, exprimé très mélancoliquement et très énergiquement aussi son regret d'être pour ainsi dire inutile au Conseil; « car, me disait-il, ma présence et celle de mon collègue Barbedienne semblaient être d'un heureux augure, et nous avions supposé qu'en nous appelant, on avait reconnu le besoin d'éclairer sur leurs véritables intérêts les esprits des producteurs, fabricants et ouvriers, et de les convaincre que, dans notre état de civilisation, le beau et l'utile devraient être inséparables, en appuyant cet aphorisme d'exemples choisis avec le plus grand soin parmi les œuvres empruntées à toutes les professions. Or il n'en a rien été et l'on continue à se contenter de multiplier les écoles de dessin, fort utiles à coup sûr, mais qui ne répondent pas suffisamment, à mon avis, au besoin que je viens d'indiquer et auquel on ne pourra satisfaire que par un large enseignement oral, s'adressant à tous, producteurs et consommateurs et touchant à toutes les questions d'art industriel. »

J'ai cru, mes chers collègues, rendre le plus bel hommage à la mémoire de M. Diéterle, membre du Conseil, en vous faisant part de ses préoccupations élevées et patriotiques et de ce que je pourrais appeler son testament à l'adresse du Conservatoire des Arts et Métiers, qu'il considérait comme le seul lieu dans

Paris où l'on pût espérer faire fructifier la bonne semence, dans l'ordre d'idées où il s'était placé.

J'aurais souhaité pouvoir vous retracer la carrière de M. Diéterle et vous rappeler quelques-unes de ses œuvres les plus importantes. J'ai demandé à sa famille des renseignements plus précis que ceux que me fournissait ma mémoire, et je m'empresse de vous communiquer l'extrait suivant d'une lettre de son gendre, M. Badin, administrateur de la Manufacture de Beauvais, que j'ai reçue ce matin même :

DIÉTERLE, Jules-Pierre-Michel, né à Paris en 1811. Son père était ébéniste, faubourg Saint-Antoine. Il fut placé, jeune encore, comme dessinateur chez M. Doptin (ou Dottin?), fabricant de papiers peints, puis entra chez Cicéri, où il fit la connaissance de Séchard, qui fonda une société de décoration avec Depléchin, Feuchères et Diéterle. Ils exécutèrent ensemble les décors de *Robert le Diable, la Juive, les Huguenots*, etc.

En 1848, M. Diéterle devint directeur des travaux d'art à la Manufacture de Sèvres, sous l'administration de M. Ebelmen, et fut nommé chevalier de la Légion d'honneur. Vers 1854, Séchard ayant entrepris des travaux très importants, à Constantinople, pour le Sultan, s'associa M. Diéterle (décoration du palais du Sultan, théâtre, etc.). Il fut promu officier de la Légion d'honneur, en 1867, pour avoir exécuté des modèles pour les Manufactures des Gobelins et de Beauvais. Il a collaboré à ces travaux avec Baudry et Chabal Dussurgey.

Nommé administrateur de la Manufacture nationale de Beauvais, en 1876, il donna sa démission en 1882; il était déjà atteint, à cette époque, de la maladie qui l'emporta au mois de mai dernier.

Il fut membre des Jurys des Expositions internationales de 1851, 1855, 1867 et 1878.

L'autre collègue dont la mort nous a séparés, M. Fuchs, était dans la force de l'âge et dans la plénitude de ses brillantes facultés. Je me sens bien peu en état de vous dire tout le bien que je sais de ce savant ingénieur dont j'étais l'ami depuis trente ans, c'est-à-dire depuis l'époque où il était élève à l'École Polytechnique, alors que j'avais l'honneur d'y professer.

Je redoute, en effet, l'émotion de mes souvenirs, parce que cette nature d'élite, puissante, généreuse, affectueuse jusqu'à

la tendresse, m'est toujours présente et me rend insupportable l'idée que c'est à sa générosité, à son avidité de savoir, à son besoin de se rendre utile aux autres et avant tout à son pays qu'il faut attribuer la mort prématurée de Fuchs.

J'ai vécu dans une étroite intimité avec ce bon et noble cœur, j'ai connu tous ses projets, suivi ses travaux et je lui ai entendu raconter la plupart de ses grands et pénibles voyages avec une modestie et un enjouement qui ne laissaient pas le temps de songer qu'en rapprochant tous les actes de cette vie d'étude, d'abnégation et de dévouement scientifique, on assistait à une épopée. J'aurais pu dès lors et j'aurais désiré esquisser devant vous une biographie de Fuchs, mais je n'en ai eu ni le temps ni le courage ; permettez-moi donc d'y substituer des extraits d'une lettre touchante de sa digne et trop malheureuse compagne, qui a bien voulu m'adresser les notes que je lui demandais et auxquelles je n'ajouterai que quelques mots pour rappeler les services rendus par Fuchs au Conservatoire et à notre Conseil :

MONSIEUR,

Je vous demande pardon de ne vous avoir pas encore remercié de la lettre si pleine de cœur que vous m'avez écrite, mais je ne m'en sentais ni la force ni le courage.

Cependant, vous voulez parler de mon mari à ses collègues, vous voulez leur faire connaître ses nombreux travaux, leur faire entrevoir son caractère si noble et si désintéressé.

A cela je dois vous aider.

Voici donc un aperçu de sa vie que j'ai fait à votre intention :

Edmond FUCHS, né à Strasbourg en 1837. Élève de l'École Polytechnique, sorti le deuxième en 1859. Professeur de Géométrie descriptive et de Physique au cours préparatoire de l'École des Mines et du cours de levé de plans à la même École, dès qu'il a terminé ses études à l'École des Mines (1862). Attaché à la Carte géologique détaillée de la France dès l'organisation de ce service (1862), sous la haute direction de M. Élie de Beaumont et de M. Béguyer de Chancourtois, puis de M. Jacquot; il est l'auteur des feuilles d'Amiens, de Montdidier et de Soissons avec M. Clérault; d'Yvetot, Le Havre et Paris avec M. de Lapparent; de Verdun

avec M. Saladin; de Commercy avec M. Robellaz; de Vassy avec M. Dubois de Gennes, et il fit seul les Cartes de Saint-Valery, Abbeville, Châlons-sur-Marne, Bar-le-Duc, Arcis. Il prépara aussi les minutes de Metz, Sarrebourg et Lunéville pour servir à l'exécution des panneaux figurant à l'Exposition de 1889.

Il avait été fait chevalier de la Légion d'honneur en 1867, à la suite de sa collaboration à l'Exposition universelle. Au moment de la guerre, en 1870, revenu en toute hâte du Chili, il prit du service et fut nommé chef de bataillon du génie auxiliaire du 16e corps, sous les ordres de l'amiral Jauréguiberry. Il fut promu officier de la Légion d'honneur sur la proposition de l'amiral, en 1871.

En 1873 et 1874, il était envoyé en mission par le Gouvernement français dans la Régence de Tunis. Il y alla à deux reprises différentes, s'occupa des gîtes de plomb argentifère du Djebel-Reças et découvrit, le premier, les puissants gisements de la côte kroumirienne, qui sont aujourd'hui concédés aux deux sociétés de Mokhta et de Tabarca. Il fit aussi, deux ans avant le capitaine Roudaire, et avec ses seules ressources, le nivellement barométrique des schotts tunisiens, et publia un travail dont les conclusions ont été confirmées par l'expérience.

En 1878, nommé professeur du cours d'Agriculture à l'École des Mines, en remplacement de M. Delesse, il transforma ce cours en celui de Géologie technique.

Il eut à créer cet enseignement tout à fait nouveau, auquel le préparaient ses nombreux voyages et l'expérience exceptionnelle qu'il y avait acquise. Depuis sa sortie de l'École, il avait étudié et décrit d'innombrables gîtes minéraux en Norvège, en Suède, en Russie, en Allemagne, en Espagne, en Italie, en Autriche, en Sibérie, au Chili, en Transylvanie, en Corse, en Portugal, etc., etc.

En 1881, sur la demande de M. Le Myre de Villers, gouverneur de la Cochinchine, Edmond Fuchs fut envoyé par le Gouvernement en mission dans la colonie. Il parcourut la Cochinchine, le Cambodge et le Tonkin. C'était avant la guerre de l'Indo-Chine, et ce ne fut pas sans courir de sérieux dangers qu'il put faire la reconnaissance géologique des environs d'Haïphong et d'Hanoï.

Il signala le premier les gîtes houillers du Tonkin, celui de Nougson dans l'Annam, la région aurifère du Tonkin méridional (province de Mi-Duc) et les grands gîtes de fer du Cambodge.

Il finit sa mission étant très souffrant, ne pouvant plus marcher, par suite de l'empoisonnement causé par le contact, avec des écorchures, de l'eau des rizières, dans lesquelles il avait dû circuler pendant de longues heures, les sampangs dans lesquels il devait prendre place ayant cédé sous son poids anormal. Après six mois de voyage, il revint, malade, et

fit néanmoins immédiatement son cours à l'École des Mines. Mais sa santé était atteinte, et depuis lors ne fit que décliner. Néanmoins, son désir d'enrichir son cours lui fit encore entreprendre des voyages en Transylvanie (gîtes d'or), aux États-Unis et au Mexique (mines d'argent). Il avait fait partie, en 1884, de la commission chargée d'élaborer le Règlement minier de l'Indo-Chine, avait été nommé en 1886 ingénieur-conseil des pays de protectorat et, en 1887, président de la Commission technique des chemins de fer du Tonkin.

Mais le mal qu'il portait en lui finit par avoir raison de sa robuste constitution et il fut emporté le 7 septembre dernier après une courte crise.

Vous voyez, mes chers collègues, avec quelle simplicité digne de lui Madame Fuchs présente l'œuvre de son mari. Elle a promis de nous adresser le relevé des travaux et des publications de notre collègue et je me ferai un devoir de vous les communiquer, en m'efforçant d'en compléter la liste, si Madame Fuchs ne parvenait pas à retrouver des documents qui me sont connus.

Ainsi, les services que Fuchs a rendus au Conservatoire sont au nombre de ceux que sa veuve ignore peut-être et dont elle ne connaît certainement pas l'importance.

En premier lieu, je n'ai jamais fait en vain appel à son dévouement pour remplir les fonctions d'examinateur des candidats aux emplois vacants de professeurs ou d'ingénieurs chargés des travaux aux Écoles d'Arts et Métiers, fonctions dont il s'acquittait avec autant de bienveillance que de compétence.

Notre galerie de Métallurgie, très riche, comme vous le savez, a été de sa part l'objet d'une étude attentive, et il m'a donné pour le classement des modèles qu'elle renferme les conseils les plus éclairés.

Il a aussi contribué, soit personnellement, soit en mettant son préparateur à ma disposition, à la mise en ordre de nos minerais, et il s'occupait depuis près de deux ans de faire réunir à l'École des Mines les échantillons de roches et de minéraux destinés à compléter notre collection géologique et minéralogique.

Enfin vous vous souvenez, mes chers collègues, de l'assiduité de M. Fuchs à nos séances et de la part qu'il prenait à nos discussions. Il représentait parmi nous un élément essentiel, celui de l'art des Mines et de la Métallurgie et il nous aurait prêté l'appui de son autorité pour obtenir enfin la création du cours de Métallurgie que le Conseil réclame depuis si longtemps.

Il m'est impossible, Messieurs, de ne pas faire un rapprochement qui s'impose en quelque sorte. Les deux excellents collègues que nous avons perdus étaient pénétrés chacun de la nécessité de marcher en avant, et leur présence dans le Conseil témoignait de l'intérêt que le Gouvernement attache luimême à ne point négliger les branches de l'enseignement qui manquent encore dans l'organisation actuelle, organisation qui remonte à plus de vingt années en arrière.

La mémoire de ces deux éminents collègues nous sera toujours chère, et si nous parvenons à obtenir les deux cours dont ils réclamaient la création, nous n'oublierons pas que nous les devons en grande partie à leur persévérante insistance et à l'autorité de leurs noms.

L'ÉPARGNE EN FRANCE.

CONFÉRENCE

FAITE A L'EXPOSITION D'ÉCONOMIE SOCIALE

LE 28 SEPTEMBRE 1889

Par M. A. DE FOVILLE.

MESDAMES,

MESSIEURS,

A l'entrée de ce grand palais du Champ de Mars dont la France a su, depuis quelques mois, faire le rendez-vous des peuples et comme le centre du monde, vous avez pu remarquer deux figures allégoriques qui sont là, à droite et à gauche, semblant attendre au passage les hommages des visiteurs. On les trouve au seuil de la fameuse galerie des machines, on les retrouve sous la voûte du dôme d'or qui fait face à la tour de 300 mètres. Et partout, pour qu'il n'y ait pas d'erreur possible, leur nom est gravé sur le piédestal qui les porte : c'est d'un côté *la Vapeur* et de l'autre *l'Électricité*.

La vapeur et l'électricité méritaient cet honneur, car les merveilles de notre Exposition sont, en grande partie, leur œuvre. Mais il est une autre puissance sans la collaboration de laquelle toutes nos industries seraient encore dans l'enfance et qui n'a pas moins contribué que la vapeur et l'électricité aux prodigieuses victoires remportées de nos jours par l'homme sur la nature.

Cette puissance, c'est le CAPITAL.

Le capital, au Champ de Mars, n'a pas été fêté comme l'électricité et la vapeur. On ne lui a pas élevé de statue; on n'a écrit son nom nulle part. Et pourquoi cela? Parce que, Messieurs, lorsqu'on parle du capital, il s'en faut de beaucoup que cette expression soit comprise de même par tous. Pour certains esprits, bornés ou aigris, le *capital* ce n'est que l'argent du riche; ce ne serait même, à les entendre, que l'argent du mauvais riche, les millions mal acquis et mal dépensés.

A la faveur de cette équivoque, il n'a été que trop facile de souffler au prolétaire la haine du capital, et le capital est impopulaire. C'est un de ces malentendus dont la vie sociale est pleine et que la science a tant de peine à faire cesser.

Heureusement que nous pouvons ici tourner la difficulté, en parlant de l'*épargne* au lieu de parler du *capital*. Pour l'économiste, les deux termes sont presque synonymes : je dirais volontiers que l'épargne est le nom de baptême du capital, puisque c'est celui qu'il reçoit à l'état naissant. Mais, par une inconséquence de plus, les détracteurs du capital s'abstiennent généralement de médire de l'épargne, et même devant eux, on en pourrait entreprendre l'éloge sans risquer de se voir qualifier d'adorateur du veau d'or. A plus forte raison ici.

Parlons donc de l'épargne et esquissons-en rapidement l'histoire. Ce n'est ni un cours, ni un sermon que je vais faire. Pour un cours, le temps me manquerait; pour un sermon, l'autorité : je risquerais d'ailleurs de prêcher des convertis, car ceux et celles qui ont bien voulu me faire l'honneur de venir m'entendre sont certainement des amis de l'épargne.

Je me bornerai à résumer à grands traits une question qui ne doit pas être nouvelle pour vous, et les observations que je me propose de vous soumettre seront surtout celles que j'ai pu recueillir, comme membre du Jury et comme rapporteur de la section VIII de notre Exposition, pendant les longues heures que nous avons consacrées à l'examen, à l'étude et au classement des mille documents groupés dans le pavillon de l'Économie sociale et dans ses annexes.

Le sujet, malgré son importance, ne laisse pas que d'être un peu aride. Je compte, pour faciliter ma tâche, sur votre bien-

veillance, Messieurs, sur votre indulgence, Mesdames, et d'avance je vous en remercie.

Si vous me demandiez où commence exactement, dans le cours des âges, l'histoire de l'épargne, je serais assez embarrassé pour vous fixer à cet égard. D'aucuns vous diront que l'épargne est vieille comme le monde, et je crois qu'ils peuvent avoir raison. D'autres vous assureront que l'épargne est chose absolument moderne, et je crois qu'ils n'ont pas tort. Tout dépend du point de vue auquel on se place et du sens qu'on attache aux mots.

Évidemment, il y a toujours eu ici-bas des exemples de cette sage prévoyance qui consiste à mettre en réserve, au profit de l'avenir, une partie des ressources dont le présent dispose. Entre les avares, qui sont des maniaques, et les prodigues qui sont des fous, il s'est rencontré de tout temps des esprits mieux pondérés qui aimaient à se faire de la modération en toute chose une habitude et une loi. Ce n'est pas un type nouveau sur la terre que le travailleur sobre, courageux, prudent qui, au lieu de dépenser au jour le jour tout ce qu'il produit ou tout ce qu'il gagne, sait limiter ses besoins, ménager ses moyens; qui s'impose à lui-même une sorte de dîme quotidienne et se constitue ainsi ou, mieux encore, constitue à ses enfants, en vue des batailles de la vie, comme un petit trésor de guerre. L'économie ne nous conduit pas toujours à la fortune; mais, comme l'avait déjà observé Cicéron, c'est encore le plus sûr de tous les revenus. L'économie garantit notre indépendance, sauvegarde notre dignité; et c'est ce que bien des hommes ont de tout temps compris.

L'épargne existait donc dans les siècles passés; mais elle n'existait, pour ainsi dire qu'à l'état latent. Rien n'avait été fait pour l'encourager, pour la protéger. Elle en restait au régime précaire de la tirelire et du bas de laine. Dans ces conditions primitives, ceux qui ont réussi à mettre quelque argent de côté ne sont pas toujours les moins inquiets. Représentez-vous l'état d'esprit du bonhomme qui, ayant caché son petit trésor dans un coin de sa maison, se demande, chaque fois qu'il sort, s'il retrouvera bien le magot à son poste. C'est le cas du save-

tier de la fable lorsque le financier que ses chansons empêchaient de dormir lui eut donné cent écus :

Le sommeil quitta son logis.
Il eut pour hôtes les soucis,
Les soupçons, les alarmes vaines.
Tout le jour il avait l'œil au guet... et, la nuit,
Si quelque chat faisait du bruit,
Le chat prenait l'argent...

Tels sont les inconvénients de l'épargne à domicile; et c'est pour cela que l'institution des caisses d'épargne, qui n'a pas créé l'épargne, lui a du moins ouvert une ère nouvelle, en offrant un asile sûr aux réserves des petites bourses et en les faisant fructifier.

Le bienfait des caisses d'épargne est si évident et le principe en est si simple qu'on s'étonne de ne rien trouver de semblable avant la fin du dernier siècle. Il s'était rencontré, sous Henri IV, un ingénieux philanthrope, Hugues Delestre, qui, lui aussi, aurait voulu voir mettre partout la poule au pot le dimanche et qui, dans un livre curieux imprimé en 1611, avait tracé le plan de la plupart des institutions de prévoyance ou de bienfaisance que notre siècle se flatte d'avoir enfantées. La caisse d'épargne y est très nettement définie, telle qu'elle fonctionne autour de nous. Mais les recommandations d'Hugues Delestre n'avaient trouvé aucun écho, et la France a mis plus de deux cents ans à réaliser ce qu'il avait conçu.

C'est au delà du Rhin que les premières caisses d'épargne ont pris naissance. La petite ville de Brunswick prétend en avoir possédé une dès 1765. La caisse d'Hambourg remonte à 1778. Puis viennent celles d'Oldenbourg (1786), de Kiel (1796), de Göttinge, d'Altona (1801).

En Suisse, les pouvoirs publics, à Berne, installent eux-mêmes, en 1787, une *Diensten-Kasse,* ou caisse des serviteurs; et l'initiative privée imite bientôt cette création à Genève (1789), à Zurich (1805), à Coire, à Bâle, etc....

En Angleterre, c'est à une femme, mistress Priscilla Wakefield, que revient l'honneur d'avoir imaginé la première les *savings banks :* tel est le nom qu'on donne aux caisses

d'épargne de l'autre côté de la Manche, et l'expression est heureuse car, le verbe *save* en anglais signifiant tout à la fois *épargner* et *sauver*, il s'attache ainsi aux caisses d'épargne une idée de sauvetage, une idée de salut, qui ne saurait être mieux placée. La petite caisse installée en 1801 à Tottenham, dans la banlieue de Londres, par Mme Wakefield, était surtout destinée aux ouvrières et aux apprentis du quartier. Ce n'était qu'un essai. Il s'en fit d'autres, sur divers points du royaume; mais la première *savings bank* vraiment digne de ce nom est celle qu'organisa, en 1810, un pasteur écossais, Henri Duncan. Le succès fut complet; les imitations furent nombreuses. En 1816, le Royaume-Uni possédait déjà 50 caisses d'épargne, et le Parlement se préparait à intervenir : le premier acte législatif dont les caisses d'épargne aient été l'objet est, en effet, la loi anglaise de 1817 (Act 57, Georges III, c. 105).

La France, vous le voyez, s'était laissé distancer par ses voisins. Pourtant Louis XVI avait tenté quelque chose. Animé d'une sincère sollicitude pour son peuple, il avait jeté, en 1780, les bases d'une association dont la mission était de venir en aide, par un ensemble d'institutions sagement combinées, aux classes laborieuses ou aux indigents; et, dans ce but humanitaire, le gouvernement royal, en 1787, avait autorisé la Compagnie d'assurances sur la vie à joindre à son entreprise un « bureau d'économies » pour les petits placements. Vers le même temps apparaissent : d'un côté, la « chambre d'accumulation » de Feuchère, qui ne réussit guère, et, d'autre part, la tontine Lafarge, dont je n'ai pas à vous raconter la grandeur et la décadence : vous savez qu'elle vient d'être liquidée.

Le contingent de la Révolution, dans l'histoire officielle de l'épargne, se borne à un texte de loi, qui resta sans effet. La loi du 19 mars 1793 (art. 13) disait :

Pour aider aux vues prévoyantes des citoyens qui voudraient se préparer des ressources à quelque époque que ce soit, il sera fait un établissement public sous le nom de *Caisse nationale de prévoyance*, sur le plan et d'après l'organisation qui seront déterminés.

Cette caisse n'a jamais vu le jour. Les statuts primitifs de la Banque de France, ceux de l'an VIII (24 pluviôse an VIII), annonçaient à leur tour « une caisse de placements et d'épargne »; mais le minimum des versements était fixé à 50 francs, ce qui n'était pas très encourageant pour les petites bourses; et le décret du 16 janvier 1808, approuvant les nouveaux statuts de la Banque, ne maintenait même pas cette disposition.

En fait, la doyenne de nos caisses d'épargne est la grande caisse d'épargne de Paris, qui date de 1818, et dont la création fut l'œuvre de la Compagnie royale d'assurances maritimes.

Les deux principaux promoteurs étaient le duc de Larochefoucauld-Liancourt et M. Benjamin Delessert : vous pourrez voir, dans notre section VIII, leurs médaillons suspendus côte à côte, au-dessus des beaux tableaux graphiques qui montrent les progrès successifs et la situation actuelle de l'établissement patronné, il y soixante et onze ans, par ces deux hommes de bien. L'ordonnance royale du 29 juillet 1818 autorisait la caisse d'épargne de Paris « à recevoir en dépôt et à faire fructifier les petites sommes qui lui seraient confiées par les cultivateurs, ouvriers, artisans, domestiques et autres personnes économes et industrieuses ». Il ne s'agissait donc pas d'une banque de dépôt ordinaire et l'œuvre était toute démocratique. C'est pour cela que les vingt-cinq directeurs qui administrent la caisse d'épargne de Paris et qui se recrutent dans l'élite du monde parisien ont toujours donné gratuitement le concours qui leur est demandé. A côté de ce petit parlement, le pouvoir exécutif est personnifié par l'*agent général*. J'ai beaucoup connu, j'ai beaucoup aimé le premier titulaire de cette fonction, M. Agathon Prévost, qui, pendant un demi-siècle, de 1819 à 1869, fut la cheville ouvrière et comme l'âme de l'institution. Je n'ai jamais rencontré d'esprit plus droit ni de conscience plus scrupuleuse. Il aurait, à lui seul, justifié cette confiance absolue, illimitée que la caisse d'épargne de Paris a toujours inspirée aux Parisiens, même aux époques troublées. Le très digne successeur de M. Prévost, M. Bayard, nous a fourni un curieux témoignage de cette foi inébranlable.

En mai 1871, au plus fort de la Commune, alors que le bombardement faisait rage et que trente incendies allumés à la fois allaient menacer la capitale d'une entière destruction, de bonnes gens venaient encore frapper à la porte du vieil hôtel de la rue Coq-Héron. On croyait d'abord qu'ils venaient redemander leur argent pour fuir avec.... Non : ils venaient, comme aux meilleurs jours, ajouter à leurs livrets, l'un 10 francs, l'autre 20 francs, l'autre 50....

Aujourd'hui la caisse d'épargne de Paris, avec ses trente-huit succursales, compte plus de 560 000 clients (561 542 au 1er janvier 1889) et le montant total des dépôts en cours atteint presque 125 millions de francs (122 950 109 francs au 1er janvier 1889). C'est la plus riche de toutes.

L'exemple était venu de Paris, comme c'est l'usage en France. La province fut prompte à le suivre.

Des établissements d'épargne, diversement conçus, se forment : en 1819, à Bordeaux et à Metz; en 1820, à Rouen; en 1821, à Marseille, à Nantes, à Troyes et à Brest; en 1822, au Havre, à Lyon, à Reims....

Pour l'humble travailleur des villes, c'était une bonne aubaine que la création de ces comptoirs spéciaux, où son inexpérience était sûre de trouver un accueil bienveillant, et qui, toujours prêts à recevoir son argent, quand il avait pu mettre quelque chose de côté, étaient toujours prêts à le lui restituer lorsqu'il en avait besoin, ajoutant alors au montant primitif du versement un intérêt, qui fut d'abord de 4 pour 100 et qui n'est jamais descendu au-dessous de 3.

Mais si pour le déposant l'affaire était excellente, le rôle de la caisse avait ses difficultés. La petite dotation qu'elle tenait d'ordinaire de la libéralité de ses fondateurs aurait été bien vite absorbée par les intérêts à servir, si l'on s'était borné à mettre sous clé, dans un bon coffre-fort, les sommes reçues en dépôt. Il fallait, de toute nécessité, faire produire aux capitaux encaissés la plus-value annuelle qui leur était promise.

Le placement le plus indiqué était la rente française et l'on commença par là. Mais la rente pouvait baisser. Et c'est précisément quand les complications intérieures ou extérieures

mettent la Bourse en déroute que les caisses d'épargne doivent s'attendre à voir affluer les demandes de remboursements. Que faire pour éviter cela ? Comme la tendance naturelle des Français est de réclamer à tout propos l'intervention de l'État, c'est au ministre des finances qu'on eut recours. L'ordonnance des 3-18 juin 1829 et la loi de finances du 2 août de la même année autorisèrent les caisses d'épargne à verser leurs fonds au Trésor, en compte courant. Le Trésor payait l'intérêt voulu, garantissait la restitution du capital et, provisoirement, il en disposait pour ses besoins propres, prenant ainsi à son compte les responsabilités dont les caisses avaient tenu à s'exonérer.

La loi organique du 5 juin 1835 a consacré et complété cette mise en tutelle des caisses d'épargne. La transmission à l'État des fonds disponibles y était rendue obligatoire; et la loi du 31 mars 1837 qui, pour les recevoir et les gérer, substitue au Trésor la Caisse des dépôts et consignations, maintient expressément la garantie du Trésor. Les caisses d'épargne, dès lors, n'étaient plus des sociétés libres : elles perdaient leur indépendance et devenaient de véritables établissements publics.

Nous autres économistes, nous ne voyons jamais sans regret le domaine de l'initiative privée, le champ des libertés sociales ainsi réduits au profit de l'action gouvernementale. Toutefois, dans l'espèce, il faut reconnaître que la garantie du Trésor fit merveille. De tous côtés, les caisses d'épargne s'organisèrent. Il n'y en avait que 11 en 1829; dix ans après, à la fin de 1839, j'en trouve 264. Il y a de cela cinquante ans; depuis lors, le nombre des caisses a encore doublé et plus que doublé : il en existe actuellement 547 et il y faut ajouter près d'un millier de succursales (987), soit en tout plus de 1500 bureaux....

Mais il faut surtout considérer ici le nombre des déposants et l'importance des dépôts.

Au 1er janvier dernier, les caisses d'épargne locales avaient *en cours* 5 364 000 livrets, constituant ensemble une valeur de 2493 millions de francs. Aujourd'hui, fin septembre 1889, le chiffre de 2 milliards ½ est certainement dépassé. La quotité moyenne du livret est de 464 francs.

De tels chiffres méritent qu'on s'y arrête. Mais, avant de les commenter, il faut les compléter : nous n'avons pas encore là l'effectif total de l'épargne officielle en France.

Au réseau des caisses d'épargne ordinaires est venu, en effet, se superposer, il y a quelques années, un second réseau à mailles plus serrées : je veux parler de ce qu'on appelle la *Caisse nationale d'épargne* ou la *Caisse postale*. Vous la connaissez tous de nom, ne fût-ce que par les affiches placées à la porte des bureaux de poste....

La Poste, Messieurs, possède un don bien rare ici-bas. Elle a le don d'ubiquité. Elle est partout ou, du moins, elle va partout. Il n'y a pas en France une maison, palais ou masure, qu'elle ne visite périodiquement. Il n'y a pas une famille dont elle ne connaisse le nom et l'adresse. Elle sait trouver le bûcheron dans sa forêt, le montagnard dans ses rochers, le matelot sur son navire. Au temps du grand Roi, la belle marquise de Sévigné bénissait les braves postillons qui allaient galopant jour et nuit, hiver comme été, pour lui porter les lettres de sa fille. Elle eût voulu, disait-elle, pouvoir les embrasser. Nous n'embrassons guère, nous, les pauvres facteurs ; et cependant ils nous rendent bien plus de services encore que leurs prédécesseurs n'en rendaient à nos ancêtres. Quelle perturbation s'ils venaient à se mettre en grève ! Plus de lettres ! Plus de cartes ! Plus de journaux ! Plus rien ! Il semblerait que la vie se retire du corps social tout entier.

C'est à ce don d'ubiquité, c'est à cette force de pénétration que la Poste doit de s'être vu confier tant d'attributions nouvelles. En ce qui concerne l'épargne, notamment, on a pensé que la Poste pourrait étendre aux campagnes les facilités que la force des choses restreignait jusque-là à certains centres de population. L'Angleterre, la première, a mis en mouvement, dès 1862, sa *Postal Savings Bank ;* et maintenant la Poste anglaise fait, à elle seule, bien plus d'affaires que toutes les autres caisses d'épargne du Royaume-Uni.

En France, la Caisse postale date seulement de 1882. C'est la loi du 9 avril 1881 qui l'a instituée et nos 7000 bureaux de poste ont été mis les uns après les autres à sa disposition.

Elle comble donc les lacunes de l'ancien état de choses et opère dans la France entière.

De là une première supériorité sur les caisses locales. Tout client de la Caisse postale qui voyage, soit pour ses affaires, soit pour son plaisir, peut promener son livret d'une province à l'autre, versant 200 francs ici, 400 francs là, se faisant restituer à Marseille ce qu'il a déposé au Havre, et ainsi de suite. La Caisse postale a des guichets ouverts jusque sur nos bâtiments de guerre et dans certains ports étrangers. Le livret postal est ainsi devenu une sorte de compte courant universel, et les commis-voyageurs, par exemple, n'ont plus guère d'autres banquiers que la Poste.

Voilà une première supériorité. En voici une autre : la garantie de l'État est absolue, en ce qui concerne la Caisse d'épargne postale. Aux caisses locales l'État assure bien la restitution des sommes envoyées par elles à la Caisse des dépôts et consignations. Mais l'État ne leur doit que ce qu'elles ont versé là, et si, par hasard, un caissier infidèle arrêtait au passage et s'appropriait l'argent que nous lui apportons, la responsabilité du Trésor ne serait engagée que moralement, comme on dit. En fait, lorsqu'un accident de ce genre s'est produit, les déposants n'ont rien perdu ; mais l'État n'était pas lié. Il l'est, au contraire, de la façon la plus stricte quand c'est à ses propres agents, dans un bureau de poste, que les dépôts ont été confiés.

Enfin, la Caisse d'épargne nationale a eu la bonne fortune d'être mise, dès 1881, et de rester sous la direction d'un administrateur extrêmement distingué et extrêmement zélé, qui a su résoudre avec une grande sûreté de vue, au fur et à mesure qu'elles se présentaient, toutes les difficultés inhérentes à une si vaste organisation. M. de Laboulaye a aujourd'hui plusieurs centaines d'employés sous ses ordres et tout cela marche admirablement. Il est vrai que son personnel est presque exclusivement féminin : mais les femmes sont-elles plus faciles à gouverner que les hommes? Je sais de mauvaises langues qui soutiendraient volontiers le contraire.

Je viens d'énumérer les éléments de succès dont dispose la Caisse d'épargne nationale. Elle n'a contre elle que l'inferio-

rité de l'intérêt qu'elle sert aux déposants : 3 pour 100 seulement, tandis que les caisses locales donnent encore 3 ½ ou même 3 ¾, comme celle de Paris. Cela n'a point empêché la Caisse nationale de recueillir, en sept ans, 300 millions de francs, appartenant à plus de 1 150 000 titulaires différents.

Ajoutons ces chiffres à ceux de tout à l'heure, et nous trouvons que les caisses d'épargne françaises, caisse postale et caisses locales, ont ensemble 6 millions et demi de livrets et 2 milliards 800 millions de francs de dépôts.

Six millions et demi de livrets! Notez qu'il n'est pas permis à une même personne de se faire ouvrir deux livrets à la fois. Il peut y avoir quelques infractions à cette règle, parce que le contrôle est difficile; mais elles ne sauraient être nombreuses. Et comme la France a 38 millions d'habitants (38,2), vous voyez la proportion : cela fait un Français sur six ayant de l'argent à la caisse d'épargne. Dans bien des départements, c'est un sur cinq ou un sur quatre. Pour la Sarthe, c'est un sur trois et même un sur deux dans plusieurs cantons. Là, un village de 500 âmes compte de 200 à 300 livrets. Il y a des maisons où tout le monde a le sien, hommes et femmes, vieillards et enfants.

Les enfants, notamment, forment aujourd'hui une partie très notable de la clientèle des caisses d'épargne, et ils y ont surtout été amenés par le mécanisme ingénieux de ce qu'on appelle les *caisses scolaires*. Les caisses d'épargne, pour simplifier leurs calculs, ne reçoivent pas moins d'un franc à la fois. Or, ce que les gamins qui apprennent à lire et à compter peuvent économiser sur leur petit argent de poche, ce ne sont pas des francs, ce sont des sous. Mais les sous font des francs, comme les ruisseaux font des rivières; et il importait d'apprendre au cuivre lui-même le chemin de la caisse d'épargne. M. de Malarce, qui a tant écrit sur les caisses d'épargne, dit quelque part : « Un sou gaspillé peut ouvrir une fissure au termite qui ruinera une grosse maison. » Vous trouverez peut-être l'image un peu forcée. Le bon Franklin avait dit, plus simplement : « Un sou épargné est un sou gagné. »

Nous ne saurions, d'ailleurs, nous y prendre trop tôt pour inculquer de saines habitudes à nos fils et à nos filles. Il y a

des graines qu'il faut semer de bonne heure : celle de la pré-voyance est du nombre.

Il a existé des caisses scolaires à Lyon dès 1839; mais le véritable initiateur de la chose a été un digne instituteur du Mans, nommé François Dulac. Dès 1834, le jour même où s'ouvrai la caisse d'épargne de la Sarthe, aujourd'hui prospère entr toutes, François Dulac imaginait et construisait de toutes pièces l'ingénieuse combinaison qui fait du maître d'école le tra d'union entre l'enfant et la caisse d'épargne. Il faisait ce qu font aujourd'hui, dans la France entière, des légions d'instituteurs; il collectionnait les sous, un à un, et, dès qu'il y en avait vingt à l'actif d'un élève, l'élève avait son livret. Et les sous abondaient, tant la parole de cet humble apôtre était persuasive. M. Gasnier, qui dirige avec infiniment d'activité et de succès la caisse d'épargne du Mans, a bien voulu nous apporter le vieux cahier jauni où sont calligraphiées les allocutions que François Dulac prononçait à chaque distribution de prix. Il n'est pas un de ses discours qui ne soit un plaidoyer en faveur de l'épargne. Il en montrait les avantages matériels; il insistait plus encore sur le bienfait moral : « Je ne connais pas de meilleur certificat de bonne conduite, répétait-il souvent, qu'un reçu de la caisse d'épargne. »

François Dulac a assez vécu pour voir croître et multiplier ces caisses scolaires, dont il est bien l'inventeur. Il n'a pas assez vécu pour que son nom pût figurer sur notre liste d'e posants (1). Pourtant, en considération des mérites personnels de l'homme et de l'importance du service rendu, le Jury des récompenses, sur ma proposition, a voté une médaille d' à la mémoire de François Dulac.

A l'heure qu'il est, les caisses scolaires se comptent p milliers et leur action est considérable. L'emploi des timbres-épargne, heureuse contrefaçon des timbres-poste, rend, pour ainsi dire, automatique la comptabilité de ces caisses. El sont presque devenues un jeu pour les enfants et, en même temps, elles constituent, non seulement pour eux, mais au

(1) Retraité en 1872, Fr. Dulac est mort en 1873. *Voir* J. GASNIER, *L'Épar scolaire dans le ressort de la Caisse d'épargne du Mans*. Le Mans,

our leurs parents, un instrument de moralisation d'une rande efficacité.

On peut en dire autant de ces livrets de caisses d'épargne ui, dans beaucoup d'écoles, sont distribués à titre de prix. es personnes qui en font les frais donnent là une forme très ecommandable à leur générosité, et c'est une excellente leçon e choses que cette apparition du capital, engendré par le avail.

On a souvent remarqué que ces livrets d'enfants inspirent ux familles, dans le peuple, un respect particulier. L'excellent gent général de la caisse d'épargne de Lyon, M. Dumond, ous racontait, à ce propos, une histoire assez touchante.

On lui amène, un jour, un homme en blouse, un ouvrier éfileur, qui venait réclamer le montant d'un livret de 32 francs, nt sa fille, élève des écoles municipales, était devenue titu- ire. Le père était dans son droit, légalement. Mais on a pris, pareil cas, l'excellente habitude de demander, avant de mbourser, quelques explications. Le tréfileur expliqua que femme venait de mourir après une longue maladie, qui les ait ruinés; les 32 francs de l'enfant allaient servir à enterrer la ère. Ce qu'il n'ajoutait pas, mais ce qui se devinait, rien qu'à voir, c'est que les petits verres avaient eu aussi leur part s dernières ressources du ménage. L'homme, autrefois plus ngé, avait délaissé peu à peu son intérieur, attristé par la ite agonie de la pauvre mourante ; il avait fait de mauvaises nnaissances, et vous devinez le reste.... Le digne agent géné- , en lui remettant les 32 francs de sa fille, lui dit simplement : appelez-vous que cet argent n'est pas votre propriété : vous mpruntez à une enfant qui l'a gagné et bien gagné ; votre voir sera de le lui rendre. » L'ouvrier resta pensif un instant, s prit l'argent et sortit sans rien dire.

rois mois après, M. Dumond voyait entrer dans son cabinet homme, donnant la main à une jolie petite blondine, en robe e. C'était le tréfileur ; mais il avait une toute autre tenue la première fois. Il mit sur la table 32 pièces de 20 sous, es comptant bien et, d'une voix un peu tremblante : viens vous rendre, fit-il, l'argent de ma petite Marie. Je remercie, Monsieur, de ce que vous m'avez dit le jour de

l'enterrement.... Depuis ce moment-là, je n'ai pas voulu entrer une seule fois au cabaret, tant j'avais hâte de m'acquitter.... Et, comme je ne veux pas plus y retourner demain qu'hier, je vous donne ma parole d'honneur que, tant qu'il y aura du travail à l'usine, je viendrai chaque semaine vous apporter 20 sous de plus pour le livret de la petite. »

Voilà de braves gens pour lesquels la caisse d'épargne aura bien été, selon l'expression anglaise, une bouée de sauvetage, une planche de salut !

Je vous disais tout à l'heure que les 6 millions et demi de clients de nos caisses d'épargne y avaient à eux tous, à l'heure actuelle, plus de 2 milliards 800 millions de francs.

Le milliard est un si gros chiffre que l'on peut avoir quelque peine à s'en faire une juste idée. Songez que depuis le commencement de l'ère chrétienne, il ne s'est pas écoulé un milliard de minutes ! Pour vous aider à vous rendre compte de ce que sont, en réalité, 2 milliards 800 millions, voici une comparaison qui a le mérite de l'actualité. Vous connaissez tous la tour Eiffel? Peut-être la voit-on d'ici. Eh bien, la tour Eiffel pèse 7 à 8 millions de kilogrammes. Elle est en fer; mais supposons-la en argent. Elle pèserait alors 10 millions de kilogrammes, car, à volume égal, l'argent est d'un tiers plus lourd que le fer. Or, un kilogramme d'argent en pièces de cent sous fait 200 francs. La tour Eiffel, reconstruite en argent, vaudrait donc à peu de chose près 2 milliards. Ainsi ce lingot de 300 mètres ne représenterait qu'environ 70 pour 100 de l'avoir des caisses d'épargne françaises et, pour arriver à l'égalité, il y faudrait ajouter un ou deux étages. Voilà qui donne, n'est-il pas vrai, une haute, une très haute idée de ce que peuvent, chez un peuple, le travail et l'économie.

Ce qui vous paraîtra extraordinaire, à première vue, c'est que les dépôts des caisses d'épargne ont doublé depuis moins de dix ans : 1400 millions en 1881, 2800 en 1889. Est-ce à dire que notre pays ait joui depuis dix ans d'une prospérité sans précédent? Non, certes. On a peut-être un peu exagéré parfois les effets de la crise agricole, de la crise industrielle, de la crise financière. Mais on ne peut nier qu'il y ait eu crise, et sur bien des points les souffrances ne sont encore que trop réelles.

Comment expliquer alors le prodigieux développement des affaires des caisses d'épargne depuis 1882, les 300 millions encaissés par la Caisse postale et surtout le milliard dont s'est grossi le solde des autres caisses ?

Cette apparente contradiction est l'œuvre de la loi du 9 avril 1881, qui, sans le vouloir et sans en avoir l'air, a quelque peu dénaturé l'institution. Dans cette loi de 1881, qui en créant la Caisse d'épargne postale, modifiait sur divers points le régime général des caisses d'épargne françaises, il y avait de louables innovations, comme celles qui concernent les livrets des femmes mariées et des enfants mineurs ; mais il s'en rencontrait de beaucoup plus discutables. Les dépôts des caisses d'épargne, chez nous, ont toujours été limités par le législateur à un certain chiffre pour chaque déposant. Une fois le maximum légal atteint, on achète à l'ayant droit, d'office, 10 francs de rente et sa créance se trouve réduite d'autant. Or, de 1851 à 1881, la limite était 1000 francs (loi du 9 juillet 1851) et, en outre, on ne pouvait apporter, tout au plus, que 300 francs d'un coup, 300 francs par semaine. Le but et l'effet de ces clauses restrictives étaient de réserver aux petites bourses l'usage des caisses d'épargne.

En 1881, on a porté le maximum légal de 1000 francs à 2000 francs, ce qui était une faute ; et, faute plus grave, on a permis au premier venu d'apporter d'un seul coup ces 2000 francs comme s'il s'agissait d'une banque ordinaire.

Dans ces conditions, on ne peut plus dire que les caisses d'épargne servent uniquement à protéger la lente formation, la cristallisation de l'épargne populaire.

Le cultivateur, l'ouvrier, le domestique, spécialement visés par les anciens statuts, n'économisent pas 1500 francs d'un coup. La loi de 1881 ouvrait donc la porte à une clientèle toute nouvelle, beaucoup moins démocratique et beaucoup moins intéressante que la première. Tel bourgeois aisé, tel gros fermier, tel petit commerçant, à qui une banque ordinaire donnerait, pour ses dépôts à vue, un intérêt de 1 pour 100, va maintenant se faire ouvrir un compte à la caisse d'épargne. Avec un livret pour lui, un livret pour sa femme, un livret pour chacun de ses enfants, il arrive à placer à 3, 3 $\frac{1}{2}$, 3 $\frac{3}{4}$ pour 100, jusqu'à

8 ou 10000 francs, exigibles le jour où il lui conviendra de les reprendre. C'est très commode; c'est très avantageux; et, en somme, c'est très licite, puisque la loi s'y prête. Mais évidemment ce n'était pas pour servir ces fructueuses combinaisons que les fondateurs de nos caisses d'épargne les avaient dotées à leurs frais, que leurs administrateurs avaient promis gratuitement leur temps et leurs peines, que l'État enfin avait assuré un taux d'intérêt double ou triple de celui des banques ordinaires.

Je suis bien à l'aise, Messieurs, pour critiquer les imprudences de la loi de 1881, car ceux mêmes qui en avaient pris l'initiative reconnaissent maintenant qu'ils ont été mal inspirés. Le Trésor avait d'abord trouvé fort agréable de voir ainsi venir à lui, par centaines, les millions dont il avait besoin pour alimenter nos lourds budgets extraordinaires. Mais comment ne pas s'inquiéter de cette créance croissante, 3 milliards bientôt, qui, payable en espèces, n'a actuellement que du papier comme contre-partie ? Quels embarras, quelles difficultés pour l'État si une panique venait à se produire parmi les déposants, comme cela s'est vu en 1848 et en 1870 ! Puis, même en écartant l'hypothèse d'une crise, comment ne pas condamner, au point de vue économique, cet énorme drainage de capitaux, dont les caisses d'épargne sont devenues le véhicule. C'est comme une machine pneumatique : elle fait le vide dans nos provinces; et que deviennent ces flots d'argent et d'or qu'elle pousse de tous côtés vers Paris ? Ils s'en vont tomber, un à un, dans ce grand tonneau des Danaïdes qui s'appelle la dette flottante.

Évidemment, c'est là un état de choses anormal et dangereux. Il est grand temps qu'on y remédie.

Des remèdes possibles, je ne dirai qu'un mot.

On pourrait, direz-vous, remettre en vigueur les anciens maximums. Oui, sans doute; mais ce serait contraindre immédiatement l'État à des remboursements qui, bien que partiels, le gêneraient beaucoup.

On pourrait réduire le taux de l'intérêt pour les caisses d'épargne, comme il s'est de lui-même réduit peu à peu sur tous les marchés libres. On pourrait tout au moins établir un

taux différentiel : les petits dépôts continueraient à bénéficier d'un taux de faveur; mais au-dessus de 1000 francs, par exemple on ne donnerait plus que 2 ou même 1 pour 100. Cela se fait en Belgique, à la Caisse nationale, et la caisse d'épargne de Lyon, plus ouverte au progrès que bien d'autres, s'est déjà assurée qu'une graduation de ce genre ne compliquerait pas outre mesure sa comptabilité.

On pourrait encore, — et c'est surtout de ce côté-là que penchent le Gouvernement et les Chambres, — on pourrait admettre dans le portefeuille des caisses d'épargne telles et telles valeurs qui en sont actuellement exclues par la loi et dont la diversité même, en les choisissant bien, deviendrait une garantie. La sagesse des nations ne nous dit-elle pas qu'il ne faut jamais mettre tous ses œufs dans le même panier ? Cela est doublement vrai quand le panier dont il s'agit commence à demander grâce....

Enfin, Messieurs, la solution idéale — mais elle serait difficile à acclimater en France — est celle qui a prévalu de l'autre côté des Alpes et dont notre Exposition d'économie sociale présente deux spécimens remarquables : la caisse d'épargne de Milan et la caisse d'épargne de Bologne. M. Léon Say nous avait déjà fait connaître cette organisation spéciale à la suite de son rapide voyage de 1883 dans la Haute Italie. Rien de plus vivant et rien de plus prospère que ces grandes *casse di risparmio* lombardes ou florentines, dont aucune lisière n'entrave les mouvements. Elles ont pris la forme de sociétés anonymes; mais les actionnaires de ces banques-là ne ressemblent pas aux autres; ils s'interdisent tout profit et on ne distribue jamais de dividendes. Il y aurait de quoi, cependant, car les fonds déposés sont gérés très habilement; mais tous les bénéfices réalisés servent soit à augmenter le gage des déposants, soit à doter d'autres institutions qui viennent, une à une, se greffer sur la première : secours mutuels, coopérations, banques populaires, crédit agricole, retraites, assurances. La caisse d'épargne ne vient pas là, comme chez nous, aspirer les capitaux et les faire disparaître. Elle en active, au contraire, la circulation et en assure la productivité. C'est une sorte de providence locale qui vient en aide à tous les intérêts ambiants.

Quelques-unes au moins des caisses françaises commencent à envier aux caisses italiennes cette liberté d'allure et cette puissance d'action. La caisse d'épargne de Lyon et celle de Marseille ont, dans ces dernières années, affecté à la construction de cités ouvrières, non pas l'argent de leurs clients, puisque la loi s'y oppose, mais une partie de leur propre patrimoine; et si les obstacles actuels venaient à tomber, elles seraient prêtes à faire dans cette voie un pas de plus. MM. Rostand et Dumond nous ont fait, à cet égard, les déclarations les plus positives....

En fait de caisses d'épargne libres, nous n'avons guère à citer en France que celles qui fonctionnent à titre d'œuvres patronales dans un certain nombre d'administrations ou d'établissements industriels : vous en rencontrerez les divers types dans la section XIV. D'ordinaire, c'est la direction qui reçoit elle-même les économies que ses employés ou ses ouvriers désirent lui confier; l'intérêt bonifié atteint souvent et dépasse quelquefois 5 pour 100. Je connais des caisses de ce genre où le taux varie, comme à Bruxelles, en raison inverse de la quotité des dépôts.

Outre ces caisses d'épargne privées, que je dois me borner à citer pour mémoire, il a surgi depuis peu une foule d'associations indépendantes, dont l'objet ne diffère pas essentiellement de celui des *savings banks*. Les moyens sont autres : le but est le même. Je veux parler des sociétés en participation du type *Fourmi*.

La *Fourmi de Paris*, qui est la plus riche et la plus en vue, s'impose à l'attention publique dans le pavillon de l'Économie sociale. La première chose qu'on rencontre en y entrant est une sorte d'obélisque ou de clocheton argenté, figurant d'énormes piles de pièces de cent sous; et vers la cime de ce petit Mont-Blanc, on aperçoit une bête noire, faisant l'ascension. Que de fois j'ai vu, pendant nos séances du matin, les bons tirailleurs annamites, qui venaient de déjeuner à deux pas d'ici au fourneau économique et que ne réclamait pas encore le service des fauteuils roulants, venir contempler d'un œil interrogateur ce gros insecte égaré dans l'espace. Ces naïfs enfants de l'Asie n'ont lu ni Horace, ni Boileau, ni Lafon-

taine, et ils ne savent point que depuis 2000 ans l'Europe a fait de la fourmi le symbole de la prévoyance :

> Parvula, nam exemplo est, magni formica laboris...
> ... haud ignora ac non incauta futuri....

L'habile et dévoué directeur de la *Fourmi de Paris*, M. Bolle, est venu ici même, il y a quelque temps, expliquer le jeu de l'institution, et en raconter les rapides progrès. Je ne veux pas faire double emploi en répétant ce qu'il a si bien dit, et il me suffira de rappeler que l'affaire consiste à mettre en commun des cotisations, fixées pour chaque adhérent à 3 francs par mois, et à acheter avec cet argent des obligations à lots. Les intérêts, les primes de remboursement et les lots, s'il y a lieu, s'ajoutent au capital. Au bout de dix ans, on liquide, et les ayants droit se partagent le produit de cette liquidation. La première série, ouverte en 1879, va précisément clore ses opérations cette année et les associés se trouveront avoir fait un placement fort avantageux, parce que, outre l'accumulation des intérêts, ils auront le bénéfice des plus-values acquises par la plupart des titres en portefeuille.

Il y a, Messieurs, des moralistes féroces qui étendent à ce genre d'entreprises la réprobation qu'ils ont vouée à la loterie sous toutes ses formes, même les plus atténuées. Il y a aussi d'impassibles calculateurs qui vous feront remarquer que, lorsque des milliers d'individus s'associent pour spéculer sur l'espoir d'un gros lot, la spéculation devient illusoire : si je gagne à moi tout seul un lot de 50000 francs, il est clair que je ferai envie à tout le monde ; mais, si nous nous sommes mis à 5000 pour le gagner, la part de chacun sera de 10 francs. Et, si nous ne le gagnons pas, nous aurons, en achetant des valeurs à lots, réduit notre revenu sans grossir notre capital.

Il y a du vrai dans ces critiques : mais, à tort ou à raison, le lot espéré sert d'amorce pour attirer les amateurs de châteaux en Espagne, qui sont plus nombreux que les philosophes, et ils s'enrôlent en masse. Or, une fois enrégimentés, les voilà, sous peine d'amende, forcés de mettre annuellement de côté quelques écus qui, restant dans leur poche, auraient peut-être

été gaspillés. Les *Fourmis* rendent ainsi l'épargne obligatoire. C'est un mérite que n'ont pas les caisses d'épargne ordinaires où l'on ne porte son argent que lorsqu'on le veut bien.

Et l'on ne saurait nier l'attrait de ce mode particulier de capitalisation; car, d'abord, la *Fourmi de Paris* a merveilleusement réussi. Elle gère aujourd'hui 30 000 comptes, montant ensemble à 8 millions de francs. Et, tout en grossissant de la sorte, elle a fait des petits, elle en a fait beaucoup, elle en a fait énormément. Il existe maintenant, en France et dans les États voisins, une multitude de sociétés en participation calquées sur celle de M. Bolle. Un tableau exposé par la *Fourmi de Paris* en donne la liste : et les noms qu'on y rencontre prouvent que l'esprit d'épargne n'exclut pas l'imagination. Il s'y trouve de jolis noms simples et bien choisis, comme l'*Espérance,* la *Tirelire,* le *Bas de laine,* la *Boule de neige,* l'*Avenir.* Il s'en rencontre d'originaux, comme la *Pelote,* la *Mascotte,* la *Guigne,* la *Déveine,* la *Comète,* le *Cor de chasse;* j'en vois d'un peu prétentieux : l'*Économie sociale,* l'*Harpagon,* le *Mirage,* le *Pactole,* l'*Avalanche.* Le plus souvent, on s'est inspiré de vues agricoles ou zoologiques : voici, d'un côté, *Cérès,* la *Moisson,* l'*Épi d'or,* le *Semeur,* la *Glaneuse;* de l'autre, à côté des *Fourmis* qui pullulent, les *Ruches* et les *Abeilles,* qui ne sont guère moins nombreuses; puis la *Pondeuse* et la *Couveuse,* l'*Hirondelle* et la *Souris,* l'*Albatros* et le *Castor,* le *Chat noir,* l'*Écureuil,* la *Tortue* et même la *Licorne....* Ce serait à se croire à l'Exposition des animaux reproducteurs....

Le groupe le plus favorisé a été celui qui s'intitulait *les Treize.* C'étaient, si je ne me trompe, treize commis de la Banque de France qui s'étaient associés pour tendre, eux aussi, un piège à la Fortune. On dit les joueurs superstitieux : ceux-ci ne l'étaient guère, car c'était un vendredi 13 qu'ils avaient entrepris la chose, à 13, et leur cotisation, payable le 13 de chaque mois, était de 13 francs. Tout à 13! Eh bien, il n'y avait pas 13 mois que l'affaire était lancée, quand un beau lot de 100 000 francs est venu échoir aux 13 amis. Je pense qu'ils n'ont pas demandé leur reste et que l'entreprise a été close du coup.

Je viens, Messieurs, de vous faire passer en revue les divers types de caisses d'épargne que la France possède, et qui sont venus se soumettre à notre examen dans la section VIII de l'Exposition d'économie sociale. C'est le programme qui m'était tracé et je me suis appliqué à n'être, en traitant cette question, ni trop incomplet, ni trop long. J'aurai fini dans un instant.

Mais il me reste à vous dire deux choses que je considère comme capitales.

La première observation que je tiens à formuler ici, c'est que vous vous feriez une idée absolument insuffisante de la puissance de l'épargne populaire si vous la supposiez contenue tout entière dans ces quelques centaines de caisses ou de portefeuilles que nous venons d'explorer ensemble. Certes, ils sont bien garnis, puisque nous y avons compté des milliards, puisque nous y avons trouvé assez d'argent pour construire une seconde tour Eiffel, dont celle que vous connaissez ne serait que la petite sœur. Représentez-vous cette colonne d'écus de 400 mètres de haut; représentez-vous surtout l'énorme somme de labeur et de sagesse qu'elle implique, et vous pourrez dire, en toute vérité, que l'on doit être fier d'être Français quand on regarde cette colonne-là.... Or, ce n'est encore, Messieurs, que la moindre partie de l'épargne nationale. Elle est partout autour de nous, l'épargne.... Elle est d'abord dans toute l'Exposition d'économie sociale, et non pas seulement dans la section VIII, à laquelle elle donne son nom. Si j'avais le temps de vous parler des sociétés de secours mutuels, des caisses de retraites, des assurances, assurances sur la vie, assurances contre les incendies, assurances contre les accidents, des associations coopératives, des habitations ouvrières et autres institutions patronales, je n'aurais pas de peine à vous montrer que ce sont, pour le travailleur économe et prudent, autant de variétés de caisses d'épargne. Et il y a, là aussi, d'énormes résultats déjà obtenus.

Mais élargissons encore le cadre de notre enquête. Prenons la France entière, avec toute sa richesse acquise, richesse immobilière et richesse mobilière, terres, maisons, rentes, actions, obligations, etc.... Il y en a pour 200 milliards, un peu plus ou

un peu moins; et je puis vous affirmer que la plus grande partie de cette richesse est sortie des sueurs du peuple. Pour les valeurs mobilières, dont la valeur totale dépasse en France 70 milliards (¹), tous ceux qui ont l'expérience des choses financières savent que ce ne sont pas, à beaucoup près, les millionnaires qui en ont le plus. Nous avons vu que les livrets de caisses d'épargne se transforment d'eux-mêmes, au delà d'un certain chiffre, en fonds d'État. Mais les gens économes, si modestes que soient leurs budgets, savent bien aujourd'hui aller acheter directement, l'un un titre de rente, l'autre une lettre de gage du Crédit Foncier, celui-ci une obligation du chemin de fer de Lyon ou de la Ville de Paris. Il y a dans nos cités bien peu de maisons, il y a dans nos campagnes bien peu de hameaux qui ne cachent quelques-uns de ces papiers blancs, bleus, jaunes, rouges ou verts, dont les coupons vont périodiquement s'échanger, aux guichets des banques et des caisses publiques, contre de l'or ou de l'argent. C'est par millions que se comptent, en France, les créanciers de l'État, des départements, des communes et des sociétés par actions : par millions, ai-je dit, ce qui prouve bien que, même là, les riches sont en minorité.

Puis il est encore un autre débouché pour les petits capitaux : c'est la propriété foncière; c'est la terre, la belle terre française, que le paysan préfère à tout. Un coin de pré, un carré de vigne à côté de sa maisonnette lui plaira toujours plus qu'un bout de papier dans son armoire; et qui pourrait dire combien de milliards nos braves ruraux ont su amasser, sou par sou, pour conquérir et pour féconder ce sol bien aimé où il semble que leur être prenne racine? Les domaines de moins de six hectares représentent, chez nous, les 9 dixièmes du nombre total des propriétés existantes, et l'on ne peut leur attribuer une valeur inférieure à 25 milliards. Presque tout cela est le fruit de l'épargne et une partie de la grande propriété aussi. Le socialisme reproche à la propriété foncière, petite ou grande, ce qu'il appelle ses plus-values spontanées. Étrange

---

(¹) *Voir* le *Journal de la Société de statistique de Paris* de juin 1888, et *l'Économiste français* des 14 juillet, 4 août et 15 septembre 1888.

allégation! En moyenne, le mètre carré se pays 20 centimes, 4 sous : ceux qui ont vu Jacques Bonhomme à l'œuvre savent que, souvent, il a mis dans sa terre, depuis dix siècles, bien plus d'argent qu'elle n'en vaut à l'heure qu'il est.

Et ce n'est pas seulement son champ qui lui sert de caisse d'épargne : c'est aussi sa chaumière. Il y a en France 10 millions de maisons.... Je mets en fait que l'on peut en attribuer à l'épargne populaire 9 millions.... Ce ne sont pas les plus belles, sans doute; mais elles valent encore une quinzaine de milliards, peut-être plus. Et, en y regardant bien, Messieurs, on ne tarderait pas à reconnaître que souvent aussi l'épargne, la petite épargne même, a posé la première pierre et fourni les fondations de beaucoup de brillants hôtels, de somptueuses villas et d'opulents châteaux.

J'arrive à ma seconde et dernière observation. De ce majestueux inventaire des richesses que la France doit aux efforts persévérants de tous ceux qui savent produire plus qu'ils ne consomment, dois-je conclure qu'il n'y a pour nous qu'à crier victoire et que, l'épargne ayant fait chez nous tout ce qu'elle pouvait faire, nos vœux doivent seulement tendre au maintien du *statu quo?* Oh! non, Messieurs, ce ne sera pas là ma conclusion. La France est riche et forte; mais elle pourrait l'être bien davantage. Car, à côté des millions de Français qui l'enrichissent chaque jour en s'enrichissant eux-mêmes, il y a des millions de Français aussi qui l'appauvrissent, eux, en dilapidant, par de vaines prodigalités, des ressources dont la patrie a le droit de leur demander compte.

L'épargne a notamment, dans notre pays et dans bien d'autres, une puissante rivale, une redoutable ennemie.... Vous savez que, dans les vieux contes bleus, il y a toujours, en présence et en conflit, une bonne fée qui fait le bien et une mauvaise fée qui fait le mal. Il en va de même ici. La bonne fée, c'est l'épargne. La mauvaise fée, c'est l'intempérance. Et je ne parle pas seulement de l'intempérance bestiale de l'ivrogne qu'on ramasse dans le ruisseau : je parle de tout ce que nous voyons boire d'inutile et de malsain par une multitude de gens qui dépensent ainsi, en bocks, en litres et en petits verres, sans compter le reste, de telles sommes d'argent

qu'elles suffiraient pour faire vivre et bien vivre d'innombrables familles. Il y a ainsi un véritable duel engagé, dans chaque ville de France et dans chaque village, entre la caisse d'épargne et le cabaret. La caisse d'épargne maudit le cabaret, qui réduit sa clientèle; et réciproquement. On nous a expliqué que, dans certaines communes de Bretagne, l'installation d'une succursale de la caisse d'épargne du chef-lieu avait été combattue avec tant de violence et de perfidie par les débitants de l'endroit qu'il avait fallu reculer et leur laisser le champ libre. Ailleurs, en Italie, un jour d'émeute, on a vu ces mots tracés à la craie sur la devanture d'une taverne : « Ici l'on boit : c'est la vraie caisse d'épargne du peuple. » Et ces caisses d'épargne là ou plutôt ces caisses de ruine et de perdition sont bien plus nombreuses, malheureusement, et ont un bien autre chiffre d'affaires que les nôtres. D'abord, s'il y a, en France, 1000 ou 2000 comptoirs ouverts à l'épargne, on y compte 430 000 débits de boissons, 430 000 ! D'autre part, l'alcool seul, eau-de-vie, liqueurs, absinthes et autres poisons variés, représente, pour ceux qui s'y adonnent, une dépense annuelle d'un demi-milliard. L'usage du tabac, souvent immodéré, coûte à peu près autant aux fumeurs, aux priseurs.... Voilà donc, rien que pour deux articles, une charge d'un milliard, mille millions par an ! Et ici, on sait que les pauvres ne cèdent point leur part aux riches. Un milliard, Messieurs ! N'est-il pas certain que si les Français consentaient, je ne dis pas à renoncer totalement au tabac et à l'alcool, mais seulement à réduire de moitié ces consommations abusives, la santé physique, morale, intellectuelle et même politique du pays s'en trouverait bien ! Or ce serait, rien que sur ces deux chapitres de nos budgets particuliers, une disponibilité de 500 millions de francs, de quoi quintupler les recettes annuelles des caisses d'épargne !

Je ne veux pas insister davantage. Mais vous voyez quelle marge s'offre encore aux progrès de la prévoyance et du bien-être. Vous voyez quelles conquêtes nouvelles peuvent encore suivre celles que nous célébrions tout à l'heure.

Ne nous lassons donc pas, Messieurs, ne nous lassons pas, Mesdames, de prêcher l'épargne tout en faisant la charité. En

tant que vertu privée, en tant que mérite individuel, l'esprit de charité est évidemment supérieur à l'esprit d'épargne, et ce n'est pas moi, croyez-le bien, qui reprocherais à saint Vincent de Paul de n'avoir point laissé de rentes à ses neveux. Mais, au point de vue économique et social, la prévoyance vaut mieux que l'assistance, parce que l'assistance ne fait que panser les plaies de la misère et que la prévoyance les ferme, les cicatrise, les guérit.

Croyez-moi : le paupérisme, auquel tant de rêveurs cherchent des remèdes utopiques, ne disparaîtra de ce monde que si l'épargne l'en chasse.

Puissions-nous espérer cette victoire! Puissions-nous dire, avec le grand poète : « Ceci tuera cela! »



LA

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889.

CONFÉRENCE

FAITE AU PALAIS DU TROCADÉRO, LE 17 AOUT 1889,

Par M. J. HIRSCH.

MESDAMES,
MESSIEURS,

J'ai à vous parler aujourd'hui de la Mécanique générale. Mais il importe, dès le début, de prévenir un malentendu qui pourrait se produire sur l'étendue et la portée du sujet. La *Mécanique générale*, ce n'est pas la *Mécanique en général*. S'il s'agissait d'embrasser dans son entier le domaine de la Mécanique, telle qu'elle est représentée à l'Exposition, ce ne serait ni une heure, ni une journée qui suffiraient.

Le titre de *Mécanique générale* est celui par lequel sont caractérisés les produits exposés dans la Classe 52. Aux termes des règlements de l'Exposition, la Classe 52 fait partie du Groupe VI, lequel se compose de dix-neuf classes; vous voyez qu'elle ne comprend qu'une bien petite partie de la Mécanique en général. Les appareils qui ressortissent à la Classe 52 sont les appareils mécaniques qui trouvent leurs applications à la fois dans plusieurs industries, tels que les machines et chaudières à vapeur, les turbines, les presses

hydrauliques, etc. Mais toute machine qui a pour objet le service d'une industrie particulière est attribuée par les règlements à la Classe à laquelle ressortit cette industrie. C'est ainsi, par exemple, que nous n'aurons à examiner ici ni les locomotives, qui ressortissent à l'industrie des chemins de fer, ni les machines de navigation, qui ressortissent à la navigation, etc.

La Classe 52 ou de la Mécanique générale est, à elle seule, assez étendue pour qu'il ne soit pas possible d'en faire ici une étude un peu approfondie. Je chercherai simplement à vous indiquer les points qui méritent quelque attention; nous ferons ensemble une tournée sommaire dans l'Exposition, sans examiner les détails, mais en notant au passage quelques-uns des objets à étudier. Dans cette rapide promenade, je ferai, si vous le voulez bien, fonction d'un guide, d'un cicerone.

Pour faciliter notre tournée, j'ai fait établir un petit plan de l'Exposition (*Pl. V*), sur lequel sont indiquées, par des hachures, les régions dans lesquelles des objets appartenant à la Classe 52 se trouvent exposés. Vous voyez que le domaine occupé par la Mécanique générale est fort étendu; il comprend une grande partie du Palais des Machines et divers emplacements répartis dans la vaste enceinte du Champ de Mars et sur la berge. Cette immense extension n'a rien qui puisse surprendre. La Mécanique, même en dehors de toute spécialisation, pénètre aujourd'hui partout; elle est, pour ainsi dire, complice de toutes les œuvres de l'industrie.

En outre de ce plan, j'ai fait dresser un autre Tableau (*voir* p. 355), sur lequel sont indiqués quelques-uns des objets qu'il peut être intéressant d'examiner; vous y trouverez, à côté de la désignation des exposants, l'indication de l'emplacement occupé, ce qui vous permettra de retrouver sans trop de difficulté les appareils dispersés dans cette immense enceinte du Champ de Mars. Bien entendu, je n'ai pas eu la pensée d'inscrire sur ce Tableau la totalité des objets intéressants qui se trouvent dans l'Exposition; il a bien fallu choisir: le choix a été fait un peu au hasard, et beaucoup d'expositions d'un grand intérêt ont dû nécessairement être omises.

Jetons un coup d'œil sur cette exposition de la Mécanique générale, et essayons de la comparer à l'exposition de 1878.

Au premier abord, on éprouve une sorte de déception; on ne trouve, pour ainsi dire, aucune invention saillante : quelques appareils nouveaux; mais aucune de ces grandes découvertes qui frappent comme d'un cachet telle ou telle époque. A ce point de vue, la Mécanique ne soutient pas la comparaison avec l'Électricité. Depuis 1878, l'Électricité nous a montré des merveilles, elle a révélé des applications et des phénomènes absolument inattendus. Il n'en est pas de même pour la Mécanique; en 1889, nous retrouvons la plupart des appareils qui existaient en 1878. Est-ce à dire pour cela qu'aucun progrès n'ait été accompli? Il faut bien se garder de le conclure de ce premier examen. Les progrès accomplis sont considérables; mais ils sont, pour ainsi dire, intangibles. Pour mieux me faire comprendre, permettez-moi de me servir d'une comparaison très pittoresque, et en même temps fort exacte, due à un des ingénieurs les plus distingués de l'Amérique, qui me fait l'honneur de m'appeler son ami, M. *Thurston*. Eh bien! M. Thurston compare la Mécanique à une forêt : si l'on sème au hasard, dans une plaine, des glands de chêne, au bout d'un certain temps on voit, de distance en distance, sortir de terre quelques germes; ces germes attirent forcément l'attention parce qu'ils sont isolés dans cette immense nudité; puis les plantes se multiplient, elles croissent de plus en plus serrées; et, au bout de quelques années, toute la plaine est couverte d'un vaste taillis bas et uniforme. Dès lors, rien ne force l'attention; mais, pour être insensible à l'œil, la croissance ne cesse pas pour cela d'être continue et vigoureuse. Or la Mécanique est devenue, de nos jours, une forêt puissante et en pleine maturité, dont les produits se multiplient rapidement, mais dont l'énorme croissance cesse d'être perceptible par le fait de son immensité.

Il est indispensable que nous entrions immédiatement dans notre sujet. Pour faciliter l'exposé, nous le répartirons entre quatre grandes divisions :

1° Nous parcourrons d'abord les *machines motrices*, les-

quelles forment une des parties les plus importantes de la Mécanique générale;

2° Ensuite nous passerons aux *machines élévatoires*, comprenant les machines élévatoires proprement dites, qui servent à élever les charges, que ces charges soient liquides ou solides, et les *machines destinées à comprimer les gaz;*

3° La troisième division comprendra les *appareils de transmission de la puissance motrice;*

4° Enfin, nous terminerons en passant en revue quelques *objets divers*, qui ne peuvent rentrer dans aucune des catégories précédentes.

Commençons par les *machines motrices.*

Je laisserai de côté la question des *moteurs animés;* elle est restée la même depuis 1878, et même elle n'a guère fait de progrès notables depuis bien des années.

Je ne dirai qu'un mot des *moulins à vent*, dont l'usage est assez restreint dans notre pays et qui ont été remplacés, dans un grand nombre d'applications, soit par les machines à vapeur, soit par les machines hydrauliques. On trouve cependant à l'Exposition quelques spécimens de ces machines, réellement intéressants et qu'il peut être fort utile d'étudier; ils sont installés sur la berge, à côté du ponton des bateaux du Louvre.

J'en arrive tout de suite aux grandes machines motrices.

Indépendamment de l'élément moteur proprement dit, et au point de vue seulement des applications, les moteurs de l'industrie peuvent se diviser en deux grandes classes : la classe des anciens et la classe des modernes : la comparaison avec une forêt ne cesse pas, vous le voyez, d'être applicable.

Lorsque, tout d'abord, on eut à recourir à des engins mécaniques pour actionner les manufactures, la question s'est posée, dans son ensemble, d'une façon assez simple. L'industrie s'établissait, en général, loin des centres habités, en pleine campagne; là, on avait toutes ses aises, on pouvait installer de vastes chaudières, de grandes machines, on n'était gêné en rien par le voisinage. Les mêmes facilités se retrou-

vent d'ailleurs encore aujourd'hui, dans un grand nombre d'industries.

Mais, depuis quelques années, il s'est produit un fait nouveau; par suite de l'extension considérable qu'elle a prise, l'industrie s'est rapprochée des villes, et, petit à petit, a fini par les envahir. Aujourd'hui, il faut fournir de la force motrice dans les rues mêmes de Paris, à l'intérieur des maisons habitées. De là, la nécessité de donner aux machines motrices une souplesse particulière, de les accommoder à toutes les sujétions spéciales résultant des circonstances nouvelles dans lesquelles elles sont appelées à fonctionner. Depuis 1878, il s'est fait, de ce côté, une transformation profonde; c'est là la véritable caractéristique de l'Exposition actuelle. En 1889, nous trouvons les moteurs absolument assouplis et se prêtant à toutes les conditions, si difficiles qu'elles puissent être, de l'introduction de la force motrice à l'intérieur des centres habités.

Cette souplesse est le résultat nécessaire des données du problème posé. Parmi ces données, les plus gênantes peut-être se posent dans l'installation de l'éclairage électrique, qui a pris subitement un si énorme développement; or, jusqu'à présent, on n'a pas trouvé de moyen économique pour amener, jusqu'aux points qui doivent recevoir la lumière, l'électricité fabriquée au loin; les conducteurs électriques ne peuvent, jusqu'ici, recevoir qu'une longueur limitée. Par suite, les machines motrices et productrices de l'électricité se trouvent nécessairement installées au milieu des points à éclairer, c'est-à-dire dans le centre même des lieux habités. Les anciennes machines motrices se prêtent mal à une pareille installation. On a été ainsi amené à créer de nouveaux types, répondant aux conditions imposées.

Ainsi donc, nous trouvons représentées à l'Exposition deux classes de machines motrices :

1° La classe des grandes machines, libres dans leurs allures;

Et 2° la classe des machines obligées de se soumettre à certaines sujétions plus étroites.

Cette division, nous la retrouverons dans tous les moteurs que nous aurons successivement à examiner.

Commençons d'abord par les *moteurs hydrauliques*. Au point de vue du rendement, on peut dire que les moteurs hydrauliques sont des machines à peu près parfaites; on n'entrevoit pas qu'il leur reste à réaliser des progrès bien notables; la théorie de ces machines a été établie, dans presque tous ses détails, par des géomètres éminents dont la pratique a confirmé tous les calculs.

Mais si, comme rendement, il restait peu de progrès à accomplir, l'Exposition de 1889 marque un pas en avant au point de vue de la souplesse de ces môteurs et de la variété de leurs applications.

Nous retrouvons d'abord au Champ de Mars les puissants moteurs hydrauliques sous toutes les formes, roues, turbines, etc.; les maisons *Escher Wyss*, *Feray*, *Rieter*, *Brault* et d'autres encore présentent des appareils de cette nature remarquablement étudiés et exécutés. Il y a également à signaler l'emploi de plus en plus répandu des chutes d'eau de grande hauteur. On rencontre couramment, dans les pays montagneux, des chutes de 100^m, 200^m, et même 500^m, qui, sous un faible débit, fournissent un travail moteur considérable. Ces grandes chutes exigent des turbines spécialement étudiées. Il a fallu de nombreux tâtonnements pour rendre l'usage de pareilles machines tout à fait pratique. Aujourd'hui elles sont fort employées; ce sont de petits outils, qui n'ont souvent que quelques décimètres de diamètre et fournissent des puissances motrices de plusieurs dizaines de chevaux. Ces petites turbines, desservies par des conduites de dimensions fort restreintes, tournent à de grandes vitesses; grâce à une construction très précise, elles réalisent des rendements fort satisfaisants.

C'est surtout dans la Suisse, ce petit pays où l'industrie a pris un essor si remarquable et si étonnant, qu'on trouve l'utilisation en grand de chutes d'eau de très forte hauteur. Il va de soi que les conditions topographiques du pays ont conduit à ces solutions, mais encore fallait-il les trouver et les rendre pratiques; en Suisse, elles ont admirablement réussi.

La Suisse n'a pas de minerai; elle n'a pas de houille, elle est obligée de faire venir de l'étranger le fer, les métaux et le combustible qu'elle consomme. Et cependant elle arrive à

soutenir la lutte industrielle même sur les marchés étrangers, défendus par de formidables lignes de douanes. Il y a là une organisation industrielle remarquable, et qui serait digne des études les plus attentives.

Revenons à nos petites turbines, utilisant l'eau sous des pressions très élevées. C'est là un des exemples les plus remarquables de distribution ménagère de la force motrice. Mais les turbines ne sont pas les seuls récepteurs employés en pareils cas : sans nous attarder à la question de la transmission de la puissance, sujet que nous aurons à examiner tout à l'heure, rappelons que l'eau sous de fortes pressions est utilisée de bien des manières; il suffit de citer les ascenseurs, qui sont aujourd'hui si répandus dans nos habitations particulières. C'est là encore un exemple de la pénétration de la Mécanique à l'intérieur de nos familles et de nos ménages.

Pour le service des appareils de levage, l'eau sous pression présente un avantage de premier ordre: elle est incompressible, elle ne diminue pas de volume quand la pression augmente, et cette propriété en fait un frein merveilleux. Qu'il s'agisse de modérer ou d'arrêter progressivement la chute des charges les plus lourdes, il suffit de fermer graduellement un robinet, et le mouvement se ralentit, s'arrête, sans qu'il y ait ni échauffement ni secousses. C'est là un des motifs qui ont contribué dans une large mesure à propager les emplois de l'eau comprimée dans nos industries, dans nos arsenaux, dans nos docks, dans nos ports et dans nos maisons.

J'en arrive immédiatement à une autre question, celle des *moteurs à vapeur*. Les moteurs à vapeur se composent, tout le monde le sait, de deux éléments essentiels : le *générateur*, qui produit la vapeur, et la *machine* proprement dite, qui transforme en travail la pression de cette vapeur.

La théorie des *chaudières à vapeur* est aujourd'hui très complète; on peut dire qu'on connaît, sur le fonctionnement des chaudières, à peu près tout ce qui est utile pour établir des chaudières donnant un rendement élevé. Cette perfection dans nos connaissances relatives aux chaudières est due en

grande partie, comme on sait, aux longues et admirables études de la Société industrielle de Mulhouse et des savants qui ont travaillé sous les auspices de cette Société. Quelques points de détail restent encore à élucider, mais le gros des connaissances est bien acquis, de sorte qu'au point de vue du rendement des chaudières nous resterons peut-être de longues années avant de constater des progrès notables.

Pour ce qui concerne les grands appareils industriels, les vastes générateurs de vapeur qui sont établis loin des villes dans des conditions commodes, où le constructeur a pu prendre ses aises, nous ne trouvons à l'Exposition rien de nouveau. Les chaudières de 1889 sont les mêmes que les chaudières de 1878; comme formes, comme dispositions générales, rien de changé; quelques modifications dans les dimensions et dans les cotes : c'est peu de chose. Mais, lorsque nous entrons dans le détail, il en est autrement; on constate de véritables et importants progrès réalisés dans la construction. Ces progrès sont dus d'abord à des données plus sûres pour établir le calcul des chaudières, à une exécution plus parfaite, mais principalement à l'introduction dans la construction des chaudières de nouveaux matériaux plus résistants et surtout plus homogènes que l'ancienne tôle de fer. On voit à l'Exposition des spécimens de construction très remarquables, mais qu'il est difficile de bien apprécier au premier coup d'œil; il y a des coupes de tôle et de rivure qui doivent pour ainsi dire être examinées à la loupe, si l'on veut se rendre pleinement compte de la perfection du produit. Je citerai les coupes produites par les maisons *Galloway et fils*, *Meunier et Cie*, etc.

J'en arrive à la deuxième classe de générateurs, ceux établis dans des conditions gênantes, au milieu desquelles le constructeur a de la peine à se mouvoir. On voit souvent alors s'élever des questions de sécurité, qui prennent une importance de premier ordre. Figurez-vous, par exemple, ce que serait notre grand Opéra, actuellement éclairé à la lumière électrique, s'il existait sous les pieds des spectateurs une accumulation de matières explosives, pouvant, au moindre accident, faire sauter le monument tout entier et tous ceux qu'il renferme; dans les

caves de l'hôtel Continental, du Louvre, de l'Hôtel de Ville, du Printemps, au Palais-Royal, au Bon Marché, dans tous les coins de Paris, pour ainsi dire, on trouve de puissantes usines à vapeur fournissant l'électricité. Avec les anciens types de chaudières, le moindre accident, dans des conditions pareilles, prendrait les proportions d'une catastrophe.

L'Administration ne pouvait tolérer un pareil état de choses; elle a dû interdire d'une manière absolue tout système de générateur exposant à de tels dangers un public nombreux et impressionnable. Mais alors le problème se pose sous une forme particulièrement difficile : il faut produire de la vapeur en très grande quantité, sans compromettre en aucune façon la sécurité du voisinage. La solution, c'est d'avoir des chaudières très puissantes, c'est-à-dire, — les mécaniciens me comprendront, — ayant une grande surface de chauffe, et, en même temps, contenant peu de matière explosive. Or, dans une chaudière, la matière explosive c'est l'eau chaude. Beaucoup de surface de chauffe, peu d'eau, faible encombrement, ces conditions indispensables sont satisfaites par un type de chaudières qui n'avait reçu jusque-là que des applications restreintes : ce sont les chaudières dites *à petits éléments*. Elles sont constituées par des tubes de petit diamètre, par conséquent contenant peu d'eau et présentant, relativement au volume, une grande surface. C'est en réunissant ainsi un grand nombre de ces tubes qu'on arrive à constituer des chaudières puissantes et peu dangereuses.

Ce type de chaudières s'est répandu avec rapidité. Toutes ou presque toutes les chaudières en feu de l'Exposition se rapportent au type dit *à petits éléments*. Je citerai les chaudières *Belleville, de Naeyer, Babcock* et *Wilcox*, etc.

Les nombreuses chaudières à petits éléments qui ont été produites à l'Exposition, se divisent en deux catégories :

Dans la première catégorie sont rangées les chaudières qui ne comportent que des tubes, c'est-à-dire dont le volume total est très petit; ce sont évidemment celles qui font courir le moins de dangers au voisinage, qui renferment la plus petite proportion de matière explosive. Cette innocuité relative n'est

pas sans présenter des inconvénients : le très petit volume d'eau, impressionné par un énorme courant de chaleur, subit avec la plus grande rapidité des variations de température et de niveau qui peuvent être dangereuses. Il a fallu munir ces chaudières de régulateurs très précis et fort délicats, empêchant tout changement, soit dans la température, soit dans le niveau de l'eau. C'est d'après ces principes que sont établies les chaudières *Belleville*.

D'autres maisons, pour échapper à ces difficultés, ont pris un parti différent : elles superposent, à l'appareil tubulaire proprement dit, de gros réservoirs; on a ainsi un système mixte entre les chaudières à petits éléments et les chaudières ordinaires; la conduite du générateur est beaucoup plus facile, mais, d'autre part, les dangers consécutifs d'une explosion sont moins complètement évités.

En parlant des chaudières, il convient de mentionner les accessoires, soupapes de sûreté, manomètres, indicateurs de niveau, etc., sans lesquels ces puissants et dangereux appareils seraient dépourvus de toute sécurité. M. *Bourdon* présente une exposition de ces accessoires, digne en tout de la vieille et légitime réputation de l'illustre maison qu'il représente aujourd'hui.

Passons maintenant aux *machines proprement dites*. Je vous disais tout à l'heure que la théorie des chaudières est aujourd'hui bien établie. Il en est autrement de la théorie des machines à vapeur, qui est à peine débrouillée; tout se borne jusqu'à présent à des aperçus assez grossiers. Cette incertitude de la théorie se reflète immédiatement dans les applications. L'empirisme joue encore un rôle prépondérant dans l'établissement des proportions des machines. Quant au calcul de la consommation probable, il est encore fort incertain : on n'a que des données vagues sur la plupart des causes qui peuvent augmenter ou diminuer la consommation de vapeur. Il y en a cependant une, qui est brutale : pour qu'une machine consomme peu, il faut que les pistons soient étanches; malheureusement, on n'est jamais sûr, quand une machine

marche, que les pistons ne perdent pas; il faut en faire l'essai. Certaines machines se prêtent bien à cette épreuve.

Quelques clartés ont été jetées sur cette théorie encore fort obscure par des expérimentateurs de premier ordre, comme M. *Hirn* et ses collaborateurs, toujours travaillant pour le compte de la Société industrielle de Mulhouse.

On est bien étonné, en présence de cette insuffisance théorique, de voir à quel degré de perfection une longue pratique a amené les machines à vapeur. Prenons une machine bien construite, mesurons la quantité de vapeur consommée, la quantité de travail produit, et puis comparons; nous trouvons un rendement fort satisfaisant et approchant, pour une bonne machine, du chiffre de 50 pour 100; c'est-à-dire qu'une pareille machine rend en travail à peu près la moitié du maximum qu'elle pourrait théoriquement fournir. C'est un résultat admirable quand on considère la complication de l'appareil. Du reste, entendons-nous bien, je ne veux pas dire que la machine rende en travail la moitié de la chaleur contenue dans la vapeur, mais seulement la moitié du maximum de chaleur que théoriquement elle pourrait transformer en puissance : les ingénieurs me comprendront facilement, sans que j'aie besoin d'insister.

Quant aux dispositions des machines, elles sont subordonnées aux circonstances; nous retrouvons encore nos deux grandes catégories, suivant que le constructeur a pu prendre ses aises, ou qu'il a été tenu à l'étroit par des sujétions spéciales.

Pour les machines des grandes manufactures, nous retrouvons, en 1889, les mêmes types qu'en 1878.

La grande *machine à balancier* a déjà une centaine d'années d'existence, et il ne paraît pas qu'on soit près de l'abandonner. Cette vieille machine, qui diffère à peine du type qui fut établi par l'illustre *Watt*, est un outil si sûr, sur lequel on peut si bien compter, que certains industriels ne veulent pas entendre parler d'autres machines. La maison *Windsor*, notamment, expose une fort belle machine à balancier.

Certaines industries ont besoin de moteurs moins chers, occupant moins de place, marchant à des allures plus vives : on a souvent recours, dans ce cas, aux *machines horizontales*.

Les machines horizontales, aujourd'hui si répandues, ont fait, dans ces dernières années, l'objet d'études minutieuses : de cette étude sont sorties des modifications importantes aux dispositifs anciens; la matière est mieux répartie et travaille plus uniformément; les formes ont été améliorées; les parties parasites ont été supprimées; les ornements inutiles ont disparu. Ces transformations, visibles dans tous les organes, sont surtout frappantes dans le bâti, qui a beaucoup gagné en puissance et en légèreté; elles sont dues, pour une bonne part, à l'initiative énergique et intelligente des ingénieurs américains.

Parmi les modifications profondes qui se sont introduites dans la construction des machines à vapeur, il faut citer les grandes vitesses imprimées au piston. De $1^m,20$ à $1^m,30$ par seconde, la vitesse du piston a passé, en quelques années, à 3^m et à 4^m. La puissance d'une machine est, toutes choses égales, proportionnelle à la vitesse du piston; avec de grandes vitesses, on obtient des machines à la fois puissantes et de volume restreint.

Mais il faut que la vapeur puisse suivre le piston dans ses mouvements : les orifices qui donnent passage à la vapeur doivent donc présenter de larges sections; leur ouverture et leur fermeture doivent se faire très rapidement. C'est ainsi qu'on a été amené à faire usage de distributions par déclenchement, auxquelles se rapportent les systèmes *Corliss*, *Sulzer*, *Wheelock*, etc.

Un grand nombre de maisons exposent des machines construites d'après ces principes; les noms de quelques-unes sont portés sur les Tableaux ci-joints.

La maison *Biétrix* expose des machines horizontales, dans lesquelles la distribution est obtenue par un tiroir animé d'un mouvement de rotation continu. Le tiroir tournant présente quelques difficultés d'entretien qui l'ont fait longtemps rejeter; dans les machines Biétrix, ces difficultés sont surmontées

d'une façon ingénieuse et qui mérite d'être étudiée. La distribution imaginée par M. *Joy* est fort usitée pour les machines de navigation.

Les machines horizontales sont souvent groupées deux par deux sous la forme dite *compound*, autrement dit *machines combinées :* la détente se fait en deux étages; la machine se compose de deux cylindres, l'un plus petit, l'autre plus grand; la vapeur d'échappement du petit cylindre se rend dans le plus grand, où elle achève sa détente. Si la théorie de la machine à vapeur simple est jusqu'ici bien incomplète, celle des machines compound est restée bien plus obscure encore; mais les avantages de la détente par échelons sont démontrés par la pratique journalière; c'est ce qui explique le développement rapide qu'a pris le système compound.

Je vous parlais tout à l'heure des industries électriques; elles ont déterminé l'extension d'un type de machines, tout à fait différent de ceux que je viens de décrire. Les machines dynamo-électriques tournent avec une grande vitesse; par conséquent, à moins de multiplier outre mesure les transmissions, il est indispensable que les machines à vapeur qui les mettent en mouvement tournent elles-mêmes très vite. De là, des types nouveaux de machines à vapeur. Ces machines sont ou horizontales, ou, plus souvent, verticales. On se retrouve ici à peu près dans les mêmes conditions que lorsqu'il s'agit des machines marines : grande vitesse et emplacements très étroits; aussi les types marins sont-ils fréquemment employés, notamment le type vertical dit *pilon*. Presque toutes ces machines sont à double ou triple expansion. C'est que l'économie de vapeur est importante, surtout au point de vue de l'emplacement occupé par les chaudières. Avec une machine tournant à 200, 300 ou 500 tours par minute, on ne peut plus recourir à la distribution par déclenchement; il faut que le mouvement du distributeur suive le mouvement de l'arbre de couche; la commande du distributeur doit être *desmodromique,* suivant la terminologie des géomètres modernes. Dans ces conditions, la machine, pour être économique, doit comporter la détente par échelons.

Les machines à double et triple expansion ne sont avantageuses que lorsque la pression à l'admission est considérable; et les chaudières à petits éléments se prêtent parfaitement à des pressions beaucoup plus élevées que les anciennes chaudières de grand volume; aussi, dans les usines électriques, voit-on très fréquemment les générateurs à petits éléments associés à des machines compound.

C'est d'après ces principes que sont installées, par exemple, les belles usines d'électricité situées sur la berge (*Lecouteux* et *Garnier*) ou dans les jardins (*Société Édison*, *Belleville* et *Société de Pantin*).

Puisque nous en sommes aux machines à vapeur commandant les dynamos, disons un mot d'un appareil bien intéressant, qui constitue une des rares nouveautés de l'Exposition, peut-être la seule en matière de Mécanique générale. Je veux parler de la turbine à vapeur imaginée par M. *Parsons* et construite à Paris par la Société de Pantin. L'idée par elle-même est loin d'être nouvelle. Bien souvent, on a cherché à utiliser la vapeur à l'aide d'une roue ou d'une turbine. Mais le rendement de ces sortes d'appareils a toujours été déplorable; et cela s'explique bien simplement : prenez de la vapeur sortant d'une chaudière à 5^{atm}, par exemple, lancez-la par des orifices dans l'atmosphère extérieure; cette vapeur va prendre des vitesses de 300^m à 400^m par seconde; or il n'y pas d'organe mécanique solide qui puisse accepter des vitesses pareilles; par conséquent, entre la vitesse du fluide moteur et la vitesse de l'organe récepteur, il y a discordance complète; de là des chocs intenses, dans lesquels se perd la presque totalité du travail.

M. Parsons a tourné cette difficulté par un artifice des plus ingénieux : ce n'est pas une turbine qu'il met en mouvement, ce sont dix, vingt, trente turbines; toutes ces turbines sont solidaires et montées sur un même axe; la vapeur sortant de l'une des turbines entre dans le distributeur de la turbine suivante, de telle sorte qu'entre deux turbines consécutives, il n'y ait qu'une différence de pression peu importante et par conséquent une vitesse de fluide compatible avec celle des organes

solides. Je n'insiste pas sur les détails de cet appareil, qu'on peut dire admirable, non seulement au point de vue de la conception, mais au point de vue de l'agencement de tous les organes. Cet appareil développe une puissance considérable, sous un volume excessivement réduit; il tourne à 8000 ou 10000 tours par minute, sans faire aucun bruit; quoique tout récent, il donne déjà des résultats économiques fort acceptables.

Un mot encore sur un autre appareil, qui représente la solution poussée à l'extrême de la chaudière multitubulaire : je veux parler du générateur *Serpollet*.

Le générateur Serpollet est un tube en forme de serpentin placé dans un foyer; il contient de l'eau, mais en très petite quantité, à peine quelques grammes; l'appareil pourrait donc sauter sans qu'il y eût aucun danger pour le public; tout au plus le mécanicien courrait-il des risques. Cet appareil a déjà reçu quelques emplois; on l'a appliqué sur de petits canots à vapeur, sur des tricycles; l'idée est ingénieuse et paraît nouvelle.

En fait de locomobiles, peu de changements depuis 1878; plusieurs maisons, portées au Tableau A (*voir* p. 355), établissent ces machines avec une grande perfection.

A l'Exposition de 1867, on avait vu figurer quelques machines à gaz grossières, rudimentaires, de médiocre rendement. A l'Exposition de 1878, on vit apparaître les machines Otto, déjà très perfectionnées. Depuis cette époque, les machines à gaz ont pris un développement considérable; on en fabrique en quantité et on les vend comme un produit courant.

Pour que cette industrie se soit développée avec une pareille rapidité, il faut qu'il y ait eu des raisons bien impérieuses; ces raisons, je les ai indiquées tout à l'heure : c'est la nécessité d'introduire la force motrice à l'intérieur même des maisons, jusque dans les ménages. Sous la pression de ce besoin urgent, tous les obstacles ont été surmontés. L'un des plus importants est le prix très élevé du gaz. A Paris, le

gaz coûte quelque chose comme 15 fois plus cher que la houille, à égalité de chaleur produite. Pour qu'on ait malgré tout adopté un combustible aussi cher, il fallait une véritable nécessité. Il va de soi, d'ailleurs, qu'une matière aussi coûteuse ne saurait être gaspillée, comme on le fait pour la houille; aussi les machines à gaz modernes ont-elles une consommation relativement très faible.

Comparons, au point de vue du rendement thermique, la machine à vapeur avec la machine à gaz; soit, d'une part, une très bonne machine à vapeur à condensation de 200 ou 300 chevaux et d'autre part une machine à gaz de 3 ou 4 chevaux.

La machine à vapeur représente la synthèse des résultats obtenus depuis près de deux siècles par un grand nombre d'ingénieurs distingués, elle a été étudiée dans tous ses détails, il semble que le rendement dynamique d'une pareille machine devrait être fort élevé. La machine à gaz au contraire est toute nouvelle, et n'a pas encore passé par l'étamine d'une longue expérience pratique.

Or, si l'on compare ces deux machines au point de vue du rendement, on arrive à un résultat fort surprenant.

Notre machine à vapeur, dans les meilleures conditions industrielles, va consommer au moins 1^{kg} de charbon par heure et par force de cheval.

1^{kg} de bonne houille représente........... 8500 calories.

Une machine à gaz Otto consomme couramment 1^{mc} de gaz par heure et par cheval,

1^{mc} de gaz ne représente que............. 5300 calories.

Ainsi, d'un côté 8500 calories, de l'autre 5300 pour produire le même travail, la supériorité de la machine à gaz se mesure par un chiffre d'environ 35 pour 100. Ce résultat n'est-il pas merveilleux ?

Il a été réalisé par deux procédés fort différents; M. *Otto* a pris une part prépondérante dans la réussite de l'un et de l'autre.

Le premier procédé figurait à l'Exposition de 1867 : le piston joue le rôle de projectile : il est simplement lancé en l'air par un mélange détonant, et c'est par sa chute qu'il produit le travail.

L'autre procédé consiste à n'allumer le mélange détonant qu'après l'avoir comprimé : la compression préalable a permis de construire des machines à gaz, qui ont immédiatement donné des résultats fort satisfaisants et se sont rapidement propagées dans l'industrie.

Ces machines fonctionnent d'après le cycle dit *à quatre temps;* le mélange explosif est introduit, premier temps ; il est comprimé dans le cylindre, deuxième temps; l'explosion se produit, troisième temps; expulsion des produits de la combustion, quatrième temps.

Avec ce cycle, une machine, telle que la machine Otto par exemple, donne un coup de piston effectif pour deux tours du volant ; à égalité de volume, elle produit donc environ 4 fois moins de puissance que la machine à vapeur ordinaire.

Ces machines se construisent aujourd'hui avec une grande perfection. La *Compagnie française des moteurs à gaz* expose une remarquable machine de 100 chevaux, constituée par 4 cylindres donnant chacun 25 chevaux; au point de vue de la régularité de l'allure, les 4 cylindres sont équivalents à un cylindre de machine à vapeur.

Une des plus grandes difficultés qui s'opposent à l'extension des machines à gaz, c'est le prix élevé du gaz. On s'est proposé souvent de fabriquer, d'une manière économique, un gaz spécial pour force motrice. Vous verrez sur la berge, à côté de la machine de la maison *Powell,* un gazogène alimentant cette machine : le gaz, mélange d'azote et d'oxyde de carbone, est obtenu par le passage lent de l'air atmosphérique à travers du combustible chargé sous une grande épaisseur. Cet appareil n'est pas encore en service régulier.

Je vous parlais tout à l'heure de la machine de 100 chevaux; on fait des machines à gaz de toutes les puissances, depuis 100 chevaux jusqu'à $\frac{1}{8}$ de cheval. La machine de $\frac{1}{8}$ de cheval est toute petite, on peut la poser sur une table; l'allure est d'une régularité parfaite.

La machine à gaz proprement dite ne peut rendre de services qu'à la condition d'être reliée à une canalisation de gaz; il serait bien intéressant et bien important de pouvoir se soustraire à cette difficulté. Le pétrole semble permettre de résoudre le

problème; on a recours à différents artifices pour substituer le pétrole au gaz. Cette industrie n'est qu'à son début, mais on ne tardera pas, sans doute, à établir des machines à pétrole bien régulières d'allures, d'une construction robuste, d'une conduite et d'un entretien faciles; ce sera là un véritable bienfait pour beaucoup d'industries, notamment pour l'agriculture, ces machines supprimant les dangers d'explosion et d'incendie.

Vous trouverez dans le Tableau A les noms d'un certain nombre de maisons, qui construisent fort bien les machines à gaz et à pétrole.

La machine à air chaud, alimentée au combustible solide, fait également l'objet de nouvelles et intéressantes tentatives.

M. *Backeljau* expose un pulsomètre à explosion, très ingénieux et fort original.

Je passe immédiatement aux machines à élever ou à comprimer les fluides.

Il y a, dans l'Exposition, des machines élévatoires remarquables, notamment les deux machines situées sur la berge et dont l'une a été construite par MM. *de Quillacq* et *Meunier* et l'autre par M. *Powell*.

Les pompes établies par la maison Powell sont d'invention américaine, du système *Worthington*. La pompe Worthington est une pompe à vapeur à action directe, sans volant. Dans les machines à vapeur ordinaires, la détente n'est obtenue que grâce à la présence du volant, masse puissante, qui emmagasine les excédents de travail moteur pendant la période de pleine admission, pour les restituer dans la seconde partie de la course, alors que l'expansion de la vapeur a fait baisser la pression dans le cylindre.

Dans la pompe Worthington, il n'y a pas de volant, les masses en mouvement sont insignifiantes, néanmoins la détente est réalisée; l'artifice qui a permis de résoudre ce problème est des plus ingénieux et cette curieuse machine présente, à l'étude, un véritable et sérieux intérêt.

Je ne vous dirai qu'un mot des pompes centrifuges. Elles sont admirablement représentées. Je citerai la maison *Dumont*, par exemple. Vous verrez également le modèle d'une instal-

lation faite en Egypte par la maison *Farcot*. Cette installation est représentée sur la berge par le modèle d'une des pompes centrifuges du Khatatbeh, immense tore aux formes compliquées et calculées avec rigueur jusque dans leur moindre détail.

Quant aux machines qui agissent sous des pressions très élevées, telles que les presses hydrauliques, on en trouve d'admirablement construites, mais elles n'offrent rien de bien nouveau par rapport à l'Exposition de 1878.

Les machines à comprimer les gaz sont des plus intéressantes à étudier; mais, pour la plupart, elles se rattachent à des industries spéciales et non pas à la Mécanique générale; permettez-moi néanmoins d'appeler votre attention sur les machines si remarquables qui servent à comprimer l'acide sulfureux, l'ammoniaque et l'acide carbonique et à liquéfier ces gaz sous des pressions très élevées.

Vous verrez également des machines destinées à fournir aux torpilles de l'air comprimé à des pressions s'élevant jusqu'à 125^{atm}. Et même, j'ai reçu tout récemment de M. *Mékarski*, qui a fait, des applications de l'air comprimé, l'objet de longues et belles études, l'avis qu'il venait d'expérimenter un appareil avec lequel il obtient industriellement de l'air comprimé à 1025^{atm}!

C'est un résultat bien remarquable que d'obtenir industriellement ces pressions énormes; il est important de pouvoir les mesurer. L'un de nos ingénieurs les plus distingués, M. *Édouard Bourdon*, fils de M. Eugène Bourdon, l'inventeur du manomètre métallique, s'est occupé avec succès de cette question difficile; il construit des manomètres à tubes elliptiques en acier, au moyen desquels on mesure très facilement jusqu'à 1500^{atm}. Ces manomètres sont tarés directement à l'aide de pistons hydrauliques, et par certains artifices très ingénieux, le frottement de ces pistons contre leurs garnitures est complètement supprimé. Cet appareil de tarage est certainement l'une des choses les plus remarquables de l'Exposition.

La question de la manipulation des grandes masses solides a pris depuis quelques années une importance de premier ordre. Je passerai rapidement sur les grues ordinaires à vapeur et hydrauliques, qui sont d'un usage très répandu, et j'en arrive tout de suite aux appareils destinés à élever les grandes masses indivisibles, les canons de 100 tonnes et autres organes d'un poids pareil. On arrive aujourd'hui à manier ces énormes pièces avec la plus grande facilité. Ainsi la maison *Bon* et *Lustremant* fabrique, pour nos arsenaux, des grues pouvant porter 160 tonnes! C'est le poids d'un train de chemin de fer. Grâce à ces puissants engins, on soulève ces énormes masses, on les déplace, on les dépose rigoureusement dans la position voulue; cette précision dans les manœuvres est due à l'usage de l'eau comprimée et à l'incompressibilité de ce liquide. Ces grues de grande puissance, qui, de notre pays, se sont répandues un peu partout, et surtout en Angleterre, font le plus grand honneur à ceux qui les ont construites.

Les grandes constructions en métal jouent, d'année en année, un rôle plus considérable dans notre architecture civile et publique; citons seulement les ponts de Garabit, de la Tardes, la tour Eiffel, la galerie des machines, etc. Pour établir ces gigantesques constructions, il faut disposer de moyens de levage répondant à des conditions toutes spéciales, des grues qui puissent se déplacer, s'élever, s'orienter, soulever des pièces déjà lourdes, les amener, pour l'assemblage, à leur position définitive. C'est là un problème nouveau et qui, dans certains cas, a été résolu avec une rare intelligence. Nous en avons un exemple remarquable dans le Palais des Machines : c'est la grue qui a servi à construire la tour Eiffel; cette grue a été construite par M. *Guyenet*.

Il y avait deux grues semblables, et à eux seuls, ces deux appareils ont suffi pour monter toute la tour depuis les fondations jusqu'au sommet. Cette grue, au premier abord, ne présente rien de particulier, mais si l'on considère les conditions multiples auxquelles cet appareil a dû obéir pour remplir convenablement son rôle, on est frappé de la simplicité et de l'adaptation parfaite des dispositifs mis en œuvre.

A propos des appareils de levage, disons un mot des as-

censeurs. Ces appareils sont aujourd'hui devenus vulgaires; mais, si l'on étudie de près les nombreuses questions qu'il a fallu résoudre pour établir un ascenseur fonctionnant d'une manière régulière, pouvant être mis sans danger entre les mains de voyageurs imprudents et surtout, — passez-moi le mot, Mesdames, — de dames impressionnables, on en arrive à cette conviction, que le problème était des plus ardus.

En dehors des ascenseurs usités dans les habitations, il faut parler des ascenseurs de la tour Eiffel. Il y a trois systèmes d'ascenseurs dans la tour Eiffel; deux ascenseurs vont du bas à la première plate-forme, deux ascenseurs desservent la deuxième plate-forme, enfin un dernier ascenseur élève les voyageurs au sommet de la tour.

Les deux premiers ont été imaginés par MM. *Roux, Combaluzier* et *Lepape*. C'est un système nouveau qui fonctionne avec une grande sécurité. Les dessins d'exécution ont été préparés par M. *Guyenet;* ils ont été réalisés par la *Société des Établissements Carion-Delmotte*.

Puis viennent les ascenseurs allant au deuxième étage ; ils ont été construits par MM. *Otis frères*.

Le dernier ascenseur, celui qui permet de gagner le sommet de la tour, est un mécanisme que je ne crains pas de qualifier d'admirable; il est admirable et comme conception et comme simplicité d'organes. Il a été construit par M. *Édoux*. Je ne puis entrer dans tous les détails, mais je ne saurais trop vous engager à aller visiter ce bel engin, à vous en servir si vous le pouvez, — car il y a grande affluence et les plates-formes de la tour sont fort encombrées, — et à l'examiner avec un soin tout spécial.

Arrivons aux machines ayant pour objet la transmission du travail.

S'il s'agit de la transmission à petite distance, le problème est résolu depuis longtemps : on se sert d'arbres, de paliers, d'engrenages, de poulies, de courroies, etc.

M. *Piat* expose une superbe collection d'organes de transmission.

En fait de courroies, celles en cuir sont les plus usitées.

Citons les admirables courroies des maisons *Domange* et *Lechat*. Mais lorsqu'on arrive aux puissances tout à fait considérables, on fait depuis quelques années un grand usage de câbles en chanvre, quelquefois en coton; ces câbles rendent de grands services.

Quand il s'agit de transmettre la puissance à de grandes distances, on a recours à différents procédés. Je ne parle pas de l'électricité, qui n'a pas encore fait ses preuves; mais je citerai : le câble de *Hirn*, qui était déjà connu en 1867, et que la maison *Rieter*, de Suisse, exploite avec succès; l'eau comprimée, dont l'usage se développe rapidement; dans un grand nombre de villes, en effet, on a des canalisations d'eau comprimée, qui permettent d'avoir la force motrice à tous les étages des maisons; l'*Hydraulic Engineering C°* présente les dessins d'une belle distribution de force par l'eau comprimée qu'elle a établie à Londres.

A Paris, nous avons un exemple de transmission qui mérite la plus grande attention : c'est la transmission par l'air comprimé, exploitée par la *Société Popp;* l'usine, qui est d'une puissance d'environ 3000 chevaux, est installée sur les hauteurs de Ménilmontant; elle envoie son air comprimé tout le long des boulevards; son réseau est déjà considérable.

Une autre compagnie transmet la force motrice au moyen de l'air dilaté; cet agent peut offrir des avantages sérieux lorsqu'il s'agit, non plus d'envoyer le travail à grande distance, mais de le distribuer en le détaillant dans un cercle relativement restreint.

Pour terminer cette rapide revue, j'ai encore à signaler à votre attention quelques appareils remarquables.

Le *servo-moteur*, imaginé par M. *Farcot*, a pour objet de mettre dans la main d'un homme la force des plus puissantes machines, force qu'il peut à volonté mettre en jeu instantanément et avec la plus parfaite précision. C'est ainsi que sur nos grands paquebots, le capitaine, sans sortir de sa cabine, et par le simple mouvement d'une manette sur un cadran, manœuvre à distance l'immense gouvernail, lance la machine, l'arrête ou

la fait marcher en arrière; les organes les plus lourds du navire, les forces immenses qu'il recèle dans ses flancs, la machinerie, l'artillerie, etc., sont grâce à cet appareil merveilleux, à la disposition d'un seul homme, qui peut en jouer, comme un musicien des touches d'un clavier.

Je rappellerai aussi les travaux très considérables faits en aérostation. Je citerai les noms de MM. *Tissandier*, *Yon* et puis ceux de MM. *Krebs* et *Renard*, qui ont été les premiers à obtenir ce résultat de faire décrire à un aérostat une trajectoire fermée et de le ramener exactement à son point de départ.

Enfin n'oublions pas ces belles *Associations*, qui se sont donné pour tâche d'atténuer les dangers auxquels sont journellement exposés les ouvriers qui passent leur vie au milieu de machines puissantes et impitoyables, dont ils deviennent trop souvent les victimes.

Mais il est temps de s'arrêter; on ne peut songer, dans une courte conférence, à examiner les milliers d'appareils qui figurent à la Classe 52; j'ai dû me borner à en proposer quelques-uns à vos études, et à en dresser une nomenclature sèche et sommaire. Peut-être ne sera-t-il pas inutile de coordonner ces rapides indications, en recherchant les caractères généraux par lesquels l'Exposition de 1889 se distingue des précédentes.

Ces caractères semblent pouvoir se résumer en trois termes bien simples : perfectionnement de la théorie, perfectionnement des matières employées, perfectionnement dans leur mise en œuvre.

La théorie et le calcul pratique des organes ont acquis, dans ces dernières années, une précision, une sûreté, une puissance, dont les magnifiques constructions métalliques qui font l'orgueil de l'Exposition représentent la superbe synthèse. Avant qu'une seule pierre de ses fondations eût été posée, la tour Eiffel existait tout entière sur le papier, tous ses détails

étaient prévus, jusqu'au dernier boulon, jusqu'au moindre trou de rivet; chaque fer, chaque membrure portait ses cotes, exactes au dixième de millimètre, et les efforts auxquels chaque pièce avait à résister avaient été calculés avec rigueur pour toutes les circonstances qui pouvaient se présenter, soit pendant la construction, soit sous l'action des vents les plus violents ou des variations les plus extrêmes de la température.

La métallurgie sait fournir aujourd'hui, aux mécaniciens, des matériaux très résistants, très élastiques, à des prix fort acceptables; mais le caractère distinctif de ces matériaux modernes, ce sont moins les propriétés qu'ils possèdent, que la précision avec laquelle on peut aujourd'hui les douer de telle ou telle de ces propriétés au degré voulu pour l'emploi spécial auquel ils sont destinés. On fait, sur demande, de l'acier dur pour outils, élastique pour ressorts, doux pour chaudières. Ces qualités sont dosées avec exactitude, et l'on possède, pour les contrôler, des appareils extrêmement puissants, qui, en tant que rigueur, ne le cèdent en rien aux instruments de laboratoire les plus parfaits. La maison *Trayvou*, notamment, en outre des balances et bascules qui constituent sa fabrication courante, établit des machines à essayer les métaux qui ne laissent rien à désirer. Cette perfection atteinte aujourd'hui par la métallurgie est due, en grande partie, aux exigences de la Guerre et de la Marine. La lutte pour l'existence, si âpre, si impitoyable de nos jours, a conduit chaque nation à recourir, pour son armement, à toutes les ressources que peuvent fournir la Science et l'Industrie, à exalter jusqu'à leur dernière limite les propriétés de la matière. La Mécanique, à son tour, a largement profité des progrès ainsi réalisés. C'est là un exemple, et c'est loin d'être le seul, de ces réactions réciproques et puissantes de phénomènes sociaux qui, au premier abord, semblent devoir rester absolument étrangers les uns aux autres.

Dans un autre ordre d'idées, la précision mathématique que réclament les armes de guerre a exercé sur les industries mécaniques une influence décisive; elle s'est infiltrée dans les ateliers de construction; elle les a transformés, l'interchangeabilité des pièces est devenue d'un usage courant; l'ajustage

au dixième, au centième de millimètre est passé dans les habitudes; tout atelier qui se respecte a ses jauges et ses étalons, d'une précision microscopique, et ces instruments, qui eussent naguère fait l'admiration du physicien le plus méticuleux, sont mis entre les mains des ouvriers et contremaîtres, lesquels savent merveilleusement en tirer parti. Citons, comme outils d'ajustage de haute précision, les expositions de la maison *Bariquand* et de la maison *Greenwood* et *Batley*.

Précision dans l'établissement des plans et calculs, précision dans les qualités des matériaux et le contrôle de ces qualités, précision dans la mise en œuvre, tels sont les éléments essentiels dont dispose le mécanicien moderne, et qui lui permettent de résoudre chaque jour des problèmes, qu'il n'eût pas osé aborder il y a quelques années à peine. Les exemples fourmillent dans notre Exposition, et vous n'aurez aucune peine à les retrouver. Mais il est temps de mettre un terme à cette conférence déjà trop longue.

Je n'ai cependant pas le courage de m'arrêter sans appeler votre attention sur une exposition qui, je l'avoue, me tient fort à cœur. Cette exposition est bien modeste d'apparence. Elle se compose de trois vitrines, d'aspect fort simple, situées dans le Palais des Machines, au pied de l'escalier établi au milieu de la façade parallèle à l'École militaire. Ces vitrines ont été installées par le comité de la Classe 52. Elles contiennent, sous forme de modèles, le résumé des inventions et découvertes dues à des Français, en ce qui concerne la Mécanique générale. Le Tableau B ci-après (*voir* p. 357) contient le catalogue de ces modèles. Vous verrez, en consultant cette liste, combien est prépondérante la part prise par notre pays dans les progrès généraux de la Mécanique. Loin de moi la pensée d'amoindrir le rôle joué par d'autres pays, l'Angleterre, la Suisse, les États-Unis, etc.; mais enfin, chaque nation a bien le droit d'être fière des hommes qui ont contribué à sa gloire et à la marche de la civilisation.

Les modèles en question représentent les principaux appareils inventés par des Français, ou bien à l'invention desquels des Français ont pris une part importante. Il ne s'agit, bien

entendu, que des inventions ressortissant à la Mécanique générale; on a dû laisser de côté toutes les industries mécaniques, telles que la papeterie, la filature, le tissage, etc., qui ne rentrent pas dans les attributions de la Classe 52.

Au milieu des vitrines se trouve un Tableau que vous voyez reproduit ci-après (C, p. 359).On y a inscrit les noms de quelques savants illustres, qui, par leurs méditations, par leurs calculs, par leurs expériences, par leurs longues et patientes investigations, ont établi les assises fondamentales du magnifique édifice de la Mécanique. C'est un hommage bien modeste que la Classe 52 a cru devoir rendre à ces chercheurs infatigables, qui ont consacré leur existence et leur génie aux progrès de l'humanité.

Je dois m'excuser, en terminant, d'avoir tenu aussi longuement votre attention en haleine. Le domaine à parcourir était d'une étendue et d'une richesse inépuisables; j'ai dû me borner à en effleurer les sommets, et m'en tenir le plus souvent à de sèches énumérations, sans essayer de pénétrer dans l'intérêt intime des questions. J'ai la conscience d'avoir bien incomplètement accompli cette tâche périlleuse. Je n'en ai que plus de motifs pour remercier du fond du cœur l'auditoire indulgent, qui a bien voulu jusqu'au bout me soutenir de son attention bienveillante.

A. — Principales expositions de la Mécanique générale.

Moteurs hydrauliques.

Escher Wyss et Cie.	Suisse.
Feray et Cie.......	Cl. 52.
Rieter et Cie.......	Cl. 52.
Brault, Teisset et Gillet	Cl. 52.
Guyenet..........	Tour Eiffel.

Chaudières à vapeur.

Galloway et fils...	Gde-Bretagne.
Meunier et Cie.....	Cl. 52.
Belleville et Cie....	Cour de la force motrice.
De Naeyer........	Cour de la force motrice.
Babcock et Wilcox.	Cour de la force motrice.
Société anonyme des générateurs inexplosibles, système Collet..........	Tour Eiffel.
Bourdon (Édouard).	Cl. 52.

Machines à vapeur.

1re Classe.

Windsor..........	Cl. 52.
Société centrale de constrtion de Pantin	Cl. 52.
Sulzer frères	Suisse.
Carels frères......	Belgique.
Farcot (Joseph)...	Cl. 52.
Brasseur	Cl. 52.
Escher Wyss et Cie.	Suisse.
Dyckhoff..........	Cl. 52.
Schneider et Cie...	Cl. 62.
Lecouteux et Garnier............	Cl. 52.
De Quillacq.......	Cl. 55.
Biétrix...........	Cl. 50.
Joy..............	Gde-Bretagne.

2e Classe.

Société centrale de constrtion de Pantin.	Cl. 52-62 et jardins.
Lecouteux et Garnier............	Cl. 52.
Cie de Fives-Lille..	Cl. 52.
Sulzer frères......	Suisse.
Ateliers de constrtion d'Œrlikon......	Suisse.
Farcot (Joseph)...	Cl. 52.
Westinghouse.....	Gde-Bretagne.
Straight Line Engine Co........	États-Unis.
Sautter et Lemonnier............	Cl. 52.
Boulet et Cie......	Cl. 52.
Armington et Sims.	États-Unis.
Société des générateurs à vapeur instantanée.......	Berge.

Locomobiles.

Société centrale de constrtion de Pantin.	Cl. 52.
Olry, Granddemange et Coulanghon...........	Cl. 52.
Boulet et Cie......	Cl. 52.

Machines thermiques diverses.

Compie française des moteurs à gaz...	Cl. 52.
Powell (Thomas)..	Berge.
Crossley frères....	Gde-Bretagne.
Boulet et Cie......	Cl. 52.
Rouart frères......	Cl. 52. Berge.

Cie française des moteurs à air chaud.	Cl. 52.
Backeljau	Jardins.

Machines élévatoires et de compression.

De Quillacq et Meunier	Berge.
Worthington Engine Co	Berge.
Escher Wyss et Cie.	Suisse.
Feray et Cie	Cl. 52.
Thirion	Cl. 52.
Durenne	Cl. 52.
Dumont (Louis)	Cl. 52. Berge.
Cie de Fives-Lille	Cl. 52.
Bollée fils	Cl. 52. Berge.
Morane jeune	Cl. 52.
Hydraulic Engineering Co	Gde-Bretagne.
Rouart frères	Cl. 50.
Société de constructions mécaniques spéciales (Fixary).	Cl. 50.
Compagnie industrielle des procédés Raoul Pictet.	Cl. 50.
Halot	Belgique.
Société Cockerill	Belgique.
Burckhardt	Suisse.
Mékarski	Cl. 52.
Brissonneau	Cl. 52.

Appareils de levage.

Guyenet	Cl. 52. Tour Eiffel.
Bon et Lustremant.	Cl. 52. Palais.
Mégy, Écheverria et Bazan	Cl. 52. Palais.
Édoux	Palais. Tour Eiffel.
Otis frères	Tour Eiffel.
Samain	Palais.
Roux, Combaluzier et Lepape	Tour Eiffel.
Société des établissements Carion-Delmotte	Tour Eiffel.
Anciens établists Cail (ascenseurs de l'Hôtel des Postes).	Jardins.

Transmission du travail.

Piat	Cl. 52.
Domange	Cl. 52.
Lechat	Palais.
Rieter et Cie	Suisse.
Hydraulic Engineering Co	Gde-Bretagne.
Compie Parisienne de l'air comprimé	Cl. 52.
Société anonyme de distribtion de force à domicile	Cl. 52.

Objets divers.

Farcot (Joseph)	Cl. 52.
Tissandier	Cl. 52.
Yon	Invalides.
Renard et Krebs	Invalides.
Associons de Propriétaires d'appareils à vapeur	Cl. 52.
Association pour prévenir les accidents de machines	Cl. 52.
Trayvou	Cl. 52.
Bariquand	Cl. 53.
Greenwood et Batley	Gde-Bretagne.
Comité de la Cl. 52.	Cl. 52.

B. — Grandes Inventions mécaniques françaises.

Le système métrique	*Assemblée nationale*	1790
La chaîne de Vaucanson	Jacques de *Vaucanson*	1751
La chaîne de Galle	André *Galle*	1832
La noix d'embrayage	Adolphe *Nepveu*	1840
La balance de Roberval	Gilles Personier de *Roberval*	1670
La presse hydraulique	Blaise *Pascal*	1650
La Montgolfière	Joseph-Michel et Jacq.-Étienne de *Montgolfier*	1783
L'aérostat	Jacq.-Alexandre-César *Charles*.	1783
Le bélier hydraulique	Joseph-Michel de *Montgolfier*	1797
La turbine Fourneyron	Claude *Burdin*	1824
	Benoît *Fourneyron*	1832
La turbine Fontaine	Pierre-Lucien *Fontaine*	1840
La roue Poncelet	Jean-Victor *Poncelet*	1824
La chaudière tubulaire	Marc *Seguin*	1827
La chaudière à petits éléments.	Julien *Belleville*	1850
Le ressort Belleville	Julien *Belleville*	1861
La soupape de sûreté	Denys *Papin*	1681
Le manomètre métallique	Eugène *Bourdon*	1849
L'injecteur automoteur	Marquis de *Mannoury-Dectot*	1818
	Henri-Jacques *Giffard*	1858
La machine à vapeur à piston	Denys *Papin*	1690
La détente par recouvrement	Benoît-Paul-Émile *Clapeyron*	1842
La détente Meyer	Jean-Jacques *Meyer*	1841
La détente variable par le régulateur	Marie-Joseph-Denis *Farcot*	1836
Le régulateur à bras croisés	Joseph *Farcot*	1854
Le régulateur Foucault	Léon *Foucault*	1864
Le compensateur de régulateur.	*Denis* et *Weyher*	1871
La machine à double expansion.	Benjamin *Normand*	1856
La machine à triple expansion.	Benjamin *Normand*.	1872
La navigation à vapeur	Denys *Papin*	1698
	Claude-François-Dorothée, marquis de *Jouffroy d'Abbans*	1776
L'hélice propulsive	Charles *Dallery*	1803
	Le capitaine *Delisle*	1823
	Frédéric *Sauvage*	1832
Le servo-moteur	Joseph *Farcot*	1868
Le marteau-pilon	François *Bourdon*	1839

La machine à gaz............	Philippe *Lebon d'Hubersin*.....	1801
	Pierre *Hugon*...............	1860
	Jean-Joseph-Étienne *Lenoir*....	1860
	Alph.-Eugène *Beau de Rochas*.	1862
La commande des freins à distance....................	Denys *Papin*................	1687
	Désiré *Martin* et *Verdat du Tremblay*.....................	1860
Le câble télodynamique.......	Ferdinand *Hirn*..............	1850
Le dynamomètre Morin.......	Arthur-Jules *Morin*..........	1831
La mesure de l'élasticité par le spiral réglant.............	Édouard *Phillips*.............	1869
Le frein dynamométrique.....	Gaspard-Claire-François-Marie Riche, baron de *Prony*......	1821

C. — La Mécanique rationelle et expérimentale.

Salomon de Caus..	Mort en 1635
René Descartes......	1596-1650
Edme Mariotte......	1620-1684
Blaise Pascal........	1623-1662
Pierre Varignon.....	1654-1722
Guillaume Amontons.	1663-1705
René-Antoine Ferchaut de Réaumur.......	1683-1757
Jacques de Vaucanson.	1709-1782
Jean le Rond d'Alembert..............	1717-1783
Pierre-Louis-Georges, comte de du Buat...	1734-1806
Charles-Augustin de Coulomb..........	1736-1806
Jos.-Louis Lagrange..	1736-1813
Pierre-Simon, marquis de Laplace........	1749-1827
Gaspard-Claire-François-Marie Riche, baron de Prony....	1755-1839
Jean-Baptiste-Joseph, baron de Fourier...	1788-1830
Jean-Baptiste Biot....	1774-1862
Louis Poinsot........	1777-1859
Jos.-Louis Gay-Lussac.	1778-1850
Louis-Marie-Henri Navier..............	1785-1836
Pierre-Louis Dulong..	1785-1838
Domin.-Franç. Arago.	1788-1853
Jean-Victor Poncelet..	1788-1867
Jean-Baptiste-Charles-Joseph Bélanger...	1790-1874
Alexis-Thérèse Petit..	1791-1820
Gasp.-Gust. de Coriolis.	1792-1843
Arthur-Jules Morin...	1795-1880
Nicolas-Léonard Sadi-Carnot...........	1796-1832
Adhémar-Jean-Claude Barré de St-Venant.	1797-1886
Benoît-Paul-Émile Clapeyron...........	1799-1864
Charles-Pierre-Mathieu Combes...........	1801-1872
Henri-Philibert-Gaspard Darcy.......	1803-1858
Henri-Victor Regnault.	1810-1881
Charles Callon.......	1813-1878
Henri-Édouard Tresca.	1814-1885
Louis-Domin. Girard.	1815-1871
Jacques-Antoine-Charles Bresse.........	1822-1883



TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS

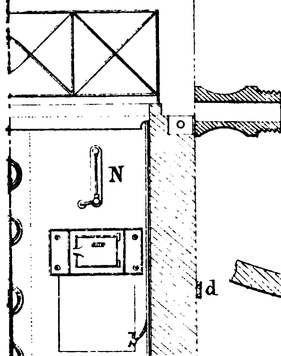
LE TOME PREMIER DE LA DEUXIÈME SÉRIE.

PLANCHES.

Paris. — Imp. Gauthier-Villars et fils, 55, quai des Grands-Augustins.

ce de la chaudière
(0m 015 p.m.)

Cylindre isolateur.
(Ech de 0.25 p.m.)



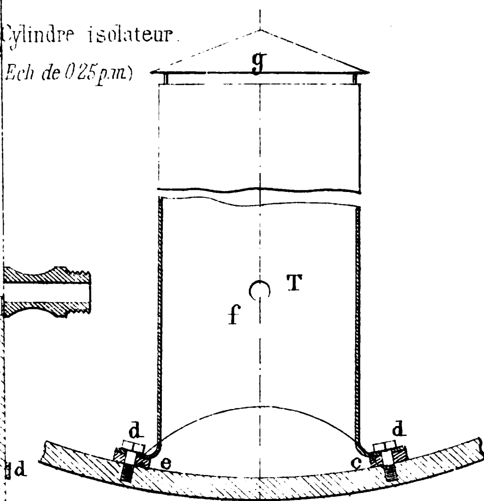
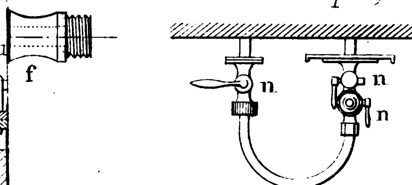
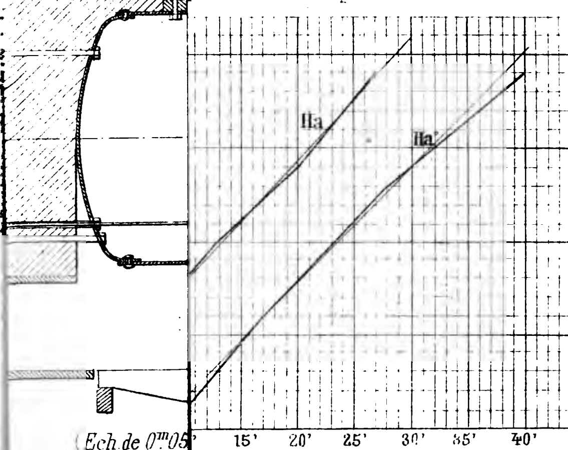


Fig.8. Détail de tuyauterie.
(Ech. de 0m 15 p.m.)



.6. Coupe longitu

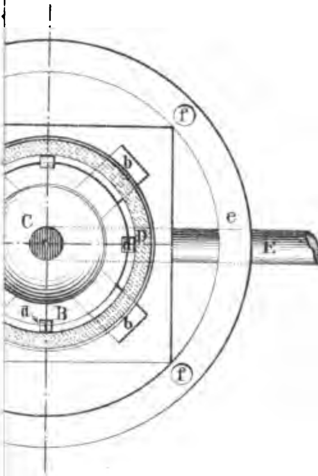
périences de vaporisation_28 Août 1888.



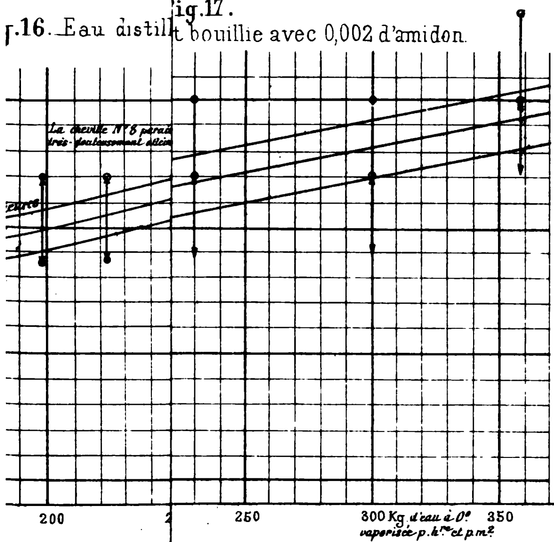
(Ech. de 0m 05

Imp. A. Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. (2684).

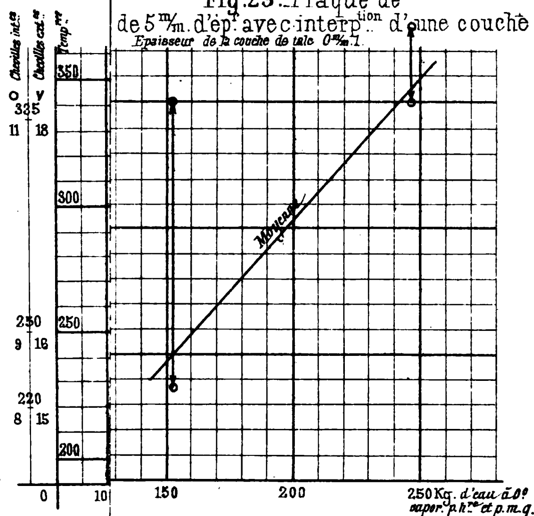
Fig . 13.
uivant 11. (*Fig. 10.*)

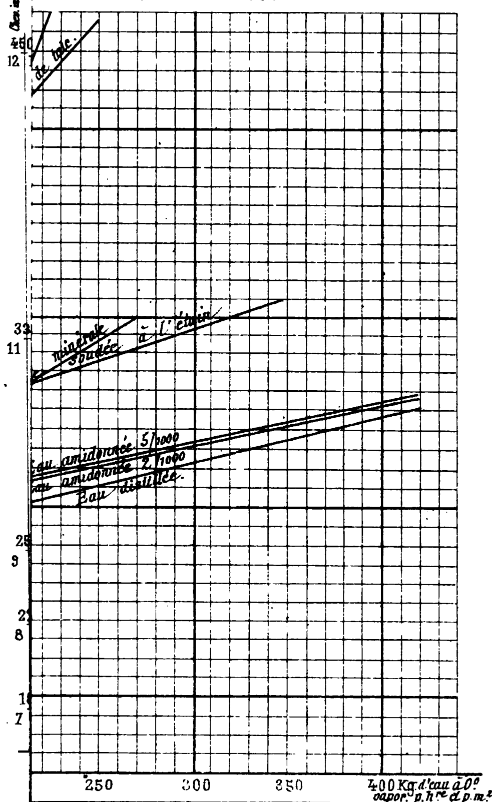


j.16. Eau distill ig.17.
t bouillie avec 0,002 d'amidon.



Gauthier-Villa Imp. A. Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. (2685-2 89)





uto. Imp. A. Broise & Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris. (2686-2-89)

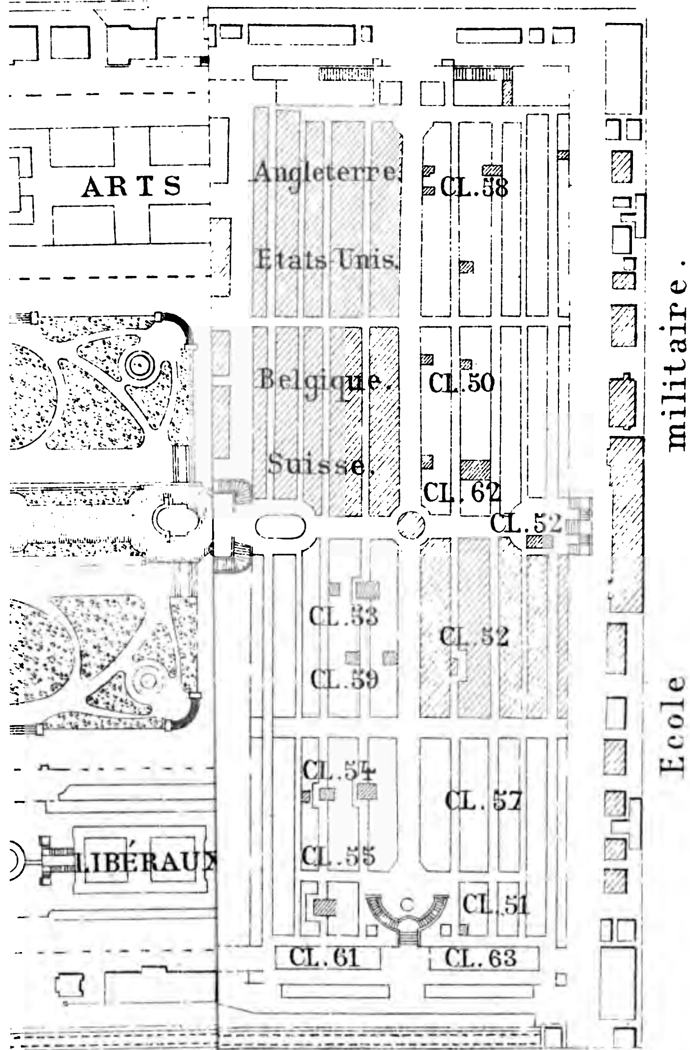


[QUE GÉN

GÉNÉRAL

Échelle de 0m,0003 p.m.

lacements occup



Gauthier-V

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.



